Ueber den radialen Saftstrom in den Wurzeln.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doctorwürde

der

hohen philosophischen Facultät der Universität Rostock.

Eingereicht im Sommersemester des Jahres 1891

von

Paul Siedler
aus Fraustadt.

Breslau,
Druck von R. Nischkowsky.
1892.

Referent: Professor Dr. Falkenberg.

Herrn Albrecht Soltmann

in Hochachtung und Ergebenheit

gewidmet

vom

Verfasser.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41553619_0085

Ueber den radialen Saftstrom in den Wurzeln.

Von **Paul Siedler.**

Mit Tafel XV.

Noch ist es nicht gelungen die Bewegung des Wassers auf dem Wege von seinem Eintritt in den Organismus der Pflanze bis zu der Stelle seines Verbrauches direkt zu verfolgen. Man weiss bis jetzt nur, dass die Gefässe resp. Tracheïden die Vermittler der Wasserbahn sind, und dass der Saft, um zu diesen zu gelangen, das Parenchym der Rinde sowie einige andere Gewebe auf osmotischem Wege durchwandern muss.

Beim Nachdenken über diesen letzteren, also radialen und zwar centripetalen Saftstrom drängt sich uns die Frage auf, ob diese Uebertragung des Wassers von den Wurzelhaaren nach den Elementen der Rinde und von diesen nach denen des axilen Cylinders nur mittelst einer einfachen, continuirlich wirksamen Diosmose geschehe, oder ob die Wurzel vielleicht besondere Vorrichtungen habe, welche bestimmt sind, diese Thätigkeit überhaupt zu ermöglichen, einzuleiten und in das geeignete quantitative Verhältniss zu bringen?

Um dies zu ermitteln, untersuchte ich eine Anzahl von Wurzeln mit besonderer Berücksichtigung der Betheiligung der einzelnen Gewebe an der Zufuhr und Abgabe des Wassers.

Um bei den äussersten Geweben zu beginnen, so entstand zunächst die Frage, ob die Zellen der Epidermis vielleicht Vorrichtungen besitzen, welche verhindern, dass das einmal aufgenommene Wasser wieder in das Nährsubstrat zurücktreten kann. Dass letztere Erscheinung unter gewissen Umständen stattfindet, ist bekannt; giebt es doch überhaupt keine pflanzliche Membran, welche dem Austrocknen einen dauernden Widerstand entgegenzubringen im Stande ist. Die Epidermis der Wurzel hat aber die Aufgabe das Wasser festzuhalten, und zugleich die, dasselbe dem centripetalen Saftstrome zu übergeben. Beide Funktionen werden nicht durch mechanische Vorrichtungen unterstützt; es ist mir wenigstens nicht gelungen, solche zu

ermitteln. Die oft zu beobachtende grössere Wandstärke der äusseren Zellwand beweist nichts; denn da die verdickte Membran für das eintretende Wasser permeabel sein muss, so könnte sie auch den Austritt von Flüssigkeit gestatten; die erwähnten Fähigkeiten scheinen vielmehr ihre natürliche Erklärung in der durch fortlaufende Wasseraufnahme stetig wachsenden Turgescenz der Epidermiszellen zu finden, und ausserdem durch die chemischen Verschiedenheiten der Membranen einer und derselben Epidermiszelle unterstützt zu werden.[1]) Die Reactionen dieser weisen nämlich darauf hin, dass die innere Tangentialwand stets diejenige ist, welche der Osmose den geringsten Widerstand entgegenbringt; bei der Behandlung mit concentrirter Schwefelsäure bleiben die äusseren, wie die Radialwände, und mit diesen auch die Wurzelhaare, welche ja nur als Verlängerungen der Epidermiszellen zu betrachten sind, in den meisten Fällen erhalten, während die inneren Tangentialwände gewöhnlich gelöst werden. Auch bei der Behandlung mit Phloroglucin und Salzsäure habe ich mitunter ein verschiedenes Verhalten der einzelnen Membranen bemerkt; es wurde dadurch die innere Tangentialwand oft geröthet, während die übrigen Membranen ungefärbt blieben. Mit Thallin, Anilin und Kali färbten sich die äusseren und radialen Wände in der Regel intensiver als die inneren; bei der Behandlung mit plasmolytischer Flüssigkeit (Glycerin) wurden die Radialwände bisweilen wellig verbogen, die inneren nicht. Letzteres Verhalten erinnert an das der Endodermis, deren tangentiale, in der Jugend unter allen Umständen permeable Wände ebensowenig wie die tangentialen Epidermiswände eine Veränderung zeigen, während an den Radialwänden als Folge des Nachlassens der Spannung die Caspary'schen Punkte hervortreten.

Alle diese Erscheinungen dürften Beweise dafür bilden, dass die Innenwände der Epidermiszellen permeabler seien, als die übrigen; das einmal aufgenommene Wasser wird also bei einem Ueberdruck in den Zellen stets seinen Weg nach innen nehmen, in den Erdboden dagegen nur in ganz abnormen Fällen zurücktreten, welche letztere Möglichkeit durch Böhm[2]) an Pflanzen von *Helianthus annuus*, die in gewisser Höhe über dem Erdboden ihrer oberidischen Gebilde beraubt worden waren, experimentell nachgewiesen worden ist.

Eine weitere Frage ist die, ob die Wurzelhaare, oder in den Fällen, wo die Epidermiszellen ihre Stelle vertreten, diese continuirlich oder nur periodisch funktioniren?

Das rasche Wachsthum der Wurzelspitzen und die damit verbundene schnelle Bildung der Haare, sowie das Absterben derselben nach relativ

---

[1]) Frank Schwarz (Wurzelhaare. Unters. aus dem bot. Institut zu Tübingen 1883. Band I, Heft 2) fand eine Verschiedenheit in den Schichten einer und derselben Membran der Wurzelhaare.

[2]) Berichte der D. Bot. Ges. Band 8, Heft 9.

kurzer Lebensdauer sprechen für die Annahme einer permanenten Funktion. Vergegenwärtigt man sich ferner ein an irgend einer Stelle des Pflanzenkörpers auftretendes Wasserbedürfniss, so gelangt man ebenfalls zu dem Resultat, dass die Reizleitung zur Befriedigung desselben sich kaum jedes Mal bis auf die Wurzelhaare erstrecken kann, und diese erst dann zu funktioniren anfangen werden, wenn sie einen Impuls dazu erhalten. Das Wasserbedürfniss der Pflanze wird bisweilen ganz plötzlich vermehrt, und sinkt wieder in so schneller Zeitfolge, dass auch aus diesem Grunde nicht anzunehmen ist, dass sich die Wurzelhaare diesen wechselnden Verhältnissen jedes Mal anzupassen vermögen. Es kommen daher im Leben der Pflanze bisweilen Stadien vor, in denen der gesammte Organismus mit Wasser übersättigt ist, so dass dieses einen Ausweg suchen muss, und in den bekannten Fällen, wo es sich in Form von Tropfen aus den Spitzen und dünnen Stellen der Blätter ergiesst, auch findet. Wo ein Ausfliessen jedoch nicht stattfinden kann, wird der im Innern des Pflanzenkörpers befindliche Ueberdruck der weiteren Aufnahme von Flüssigkeit und damit der periodischen Funktion der Wurzelhaare einen nicht zu überwindenden Widerstand entgegensetzen, und es kann dann sogar das von Frank Schwarz beobachtete Platzen der Wurzelhaare eintreten.

Solche anomale Fälle können aber die Regelmässigkeit der Wurzelarbeit nur gelegentlich beeinflussen, und brauchen hier nur oberflächliche Erwähnung zu finden.

Glaubt man nun zur Annahme der ununterbrochenen Thätigkeit der unter den erforderlichen äusseren Bedingungen vegetirenden Wurzelhaare berechtigt zu sein, so folgt daraus, dass man nach Stellen suchen muss, welche ein Ansammeln des augenblicklich nicht gebrauchten Wassers ermöglichen, da das Wasserbedürfniss der Pflanze nicht zu allen Tageszeiten und unter allen Umständen dasselbe ist.

Es liegt nun die Vermuthung nahe, dass das parenchymatische Grundgewebe der Wurzel im Verein mit der Epidermis und den Haaren, welche ja bisweilen recht beträchtliche Lumina besitzen, dem Zwecke der Wassersammlung vollkommen entspreche, da in den elastischen Zellen dieser Organe Turgescenzänderungen nach Bedürfniss vorsichgehen können. Bei *Beta, Campanulaceen* und gewissen *Compositen* ist auch ein besonderes Saftparenchym nachgewiesen worden, welches de Bary[1]) mit folgenden Worten beschreibt: „Im Gegensatz etc. finden sich andere dünnwandige Parenchymzellen, in welchen innerhalb eines sehr zarten und schwach entwickelten Protoplasmas alle festen und geformten Bestandtheile bis zum völligen Fehlen zurücktreten gegen wässrigen oder dünnen Schleim enthaltenden, fast die ganze Zelle erfüllenden Zellsaft. Man kann sie hiernach „„Saftparenchym““ nennen.“ — „Es tritt besonders massenhaft auf in

[1]) De Bary, vergleichende Anatomie der Gewächse pag. 123.

chlorophyllfreien, Inulin und Zucker reichlich enthaltenden Theilen, wie Knollen und Wurzeln von *Compositen, Campanulaceen, Beta* u. a. m.“

Unterliegt nun die wasserspeichernde Fähigkeit dieser Gewebearten keinem Zweifel, so glaube ich eingehenden Untersuchungen zufolge in vielen Fällen doch noch einem besonderen vom übrigen Rindenparenchym scharf differenzirten Gewebe ganz besonders die Funktion der Regulirung des centripetalen Saftstromes zusprechen zu müssen.

Das fragliche Gewebe besteht aus der unter der Epidermis liegenden, in vielen Fällen ausserdem auch noch aus der nächstinneren, bisweilen auch noch aus einer dritten, vierten und fünften hypodermalen Zellschicht (Fig. 1, 4, 5, 7). Dieses „Wurzel-Hypoderma“[1]), wie ich das Gewebe kurz bezeichnen will, charakterisirt sich durch folgende Merkmale: Die Zellen desselben stehen untereinander, sowie mit der Epidermis und der inneren Grenzschicht in lückenlosem Verbande.

Sie sind radial gestreckt, und grösser als die des angrenzenden Rindenparenchyms. Ihre Wände sind gradflächig, in oberen Wurzelregionen widerstandsfähiger als die des übrigen Rindengewebes. Ihr Bau ist sehr regelmässig und zeigt auf dem Querschnitt meist die Gestalt eines Sechseckes, dessen radiale Wände länger sind als die übrigen.

Die Membranen bestehen schon in frühester Jugend aus anderer Substanz als die des übrigen Parenchyms, also nicht aus reiner Cellulose, sondern, den angestellten Reactionen zufolge, aus Stoffen, welche sich mitunter holzähnlich, mitunter korkähnlich verhalten, gewöhnlich aber eine Mischung mehrerer zu sein scheinen. In concentrirter Schwefelsäure sind sie (nebst den Haaren, der Epidermis und der Endodermis) bei vielen Wurzeln schon dicht über dem Vegetationspunkte unlöslich, bisweilen löst sich nur die Innenwand, meist entsteht damit eine Wellung wie die an der zartwandigen Endodermis bei gleicher Behandlung schon oft beobachtete.

Die Verschiedenheit der Membransubstanz tritt meist im späteren Alter der betreffenden Wurzeln noch deutlicher hervor. Das Hypoderma übernimmt dann gewöhnlich mechanische Funktionen. Juel[2]) äussert sich hierüber folgendermassen: „Im Allgemeinen scheint auch bei diesen Wurzeln die „„epidermoïdale Zellschicht““ eine schützende und relativ impermeable Scheide zu sein. Ihre Wände sind nämlich meist etwas verdickt, wenigstens die äusseren tangentialen, die radialen und die horizontalen. Die epidermoïdale

[1]) Mit dem Namen „Hypoderma“ sind bisher so verschiedenartige Organe bezeichnet worden, dass ich die Unsicherheit desselben abstellen und ihn zur Präcisirung des fraglichen Gewebes benutzen zu dürfen glaube. Vide: Pfitzer: Beiträge zur Kenntniss des Hautgewebes. Pringsh. Jahrb. VIII, pag. 54. Vuillemin bezeichnet gewisse subepidermale Zellschichten mit: Exodermis.

[2]) Juel, Hauptgewebe der Wurzeln. Meddelanden fran Stockholms Högskola N. 18. 1884.

Zellschicht wird von concentrirter Schwefelsäure nicht gelöst. Auch die Epidermis widerstand im Allgemeinen dieser Säure."

Die Ansicht Juels, dass die subepidermale Schicht eine schützende Scheide darstelle, ist für ältere Stadien der Wurzel zweifellos richtig; wenn aber die Unlöslichkeit einer Membran in concentrirter Schwefelsäure als Beweis für ihre relative Impermeabilität gelten soll, so gehen meine Beobachtungen dahin, dass dies keineswegs in allen Fällen zutrifft, da sich, wie schon erwähnt, gewisse jugendliche Membranen, bisweilen sogar ganze Querschnitte in einem Stadium des Wachsthums gegen Schwefelsäure resistent erwiesen, in welchem die Aufnahme des Saftes aus dem Boden erfolgen muss, die betreffenden Organe daher einer sehr grossen Permeabilität bedürfen. Die spätere schützende Funktion des Hypodermas hindert dasselbe daher nicht, in jugendlichen Stadien zur Speicherung des Saftes zu dienen.

Auch durch seinen Inhalt unterscheidet sich das fragliche Gewebe wesentlich von dem benachbarten. Das Protoplasma ist meist auf einen sehr dünnen, unentbehrlichen Primordialschlauch reduzirt, in welchem der Zellkern schwer zu ermitteln ist. Wo das Grundparenchym der Rinde Stärke enthält, bleiben die Zellen des Hypoderma gewöhnlich davon frei. Sie machen den Eindruck, als seien sie nur mit Wasser erfüllt und befänden sich unter hydrostatischem Druck.

Die äusserste Schicht des Hypoderma, also die der Epidermis anliegende, besteht bei manchen Wurzeln, z. B. bei denen der *Orchideen* aus verschieden gebauten Zellen; es wechseln in diesen Fällen auf dem tangentialen Längsschnitt lange und kurze Zellen ziemlich regelmässig miteinander ab (Fig. 2). Juel fand diesen Bau besonders bei *Liliaceen, Smilaceen, Amaryllideen, Primulaceen* und anderen; in den Luftwurzeln der *Orchideen* ist die subepidermale Schicht von Oudemans[1]) und Leitgeb[2]) näher beschrieben worden. Die kurzen Zellen unterscheiden sich hinsichtlich ihres Inhaltes nicht unwesentlich von den längeren. Während in diesen gewöhnlich nichts als ein ganz schwacher Primordialschlauch zu sehen ist, enthalten erstere reichlich Protoplasma und Baustoffe, von denen ich besonders Stärke und Oeltröpfchen bemerkte.

Diese Verschiedenheit des Inhaltes lässt auf verschiedenartige Funktionen schliessen, welche auch von den angeführten Autoren in dem hypodermalen Gewebe vermuthet worden sind.

Es lag nahe, diese Schicht mit der „Hülle" der Luftwurzeln der Orchideen zu vergleichen, deren wassersammelnde Fähigkeit wohl über jeden Zweifel erhaben ist. Man stellte die kurzen Zellen jener den Durchgangsstellen dieser gegenüber, und schrieb ihnen ähnliche Funktionen zu, zumal

---

1) Oudemans, Ueber den Sitz der Oberhaut bei den Luftwurzeln der Orchideen. Verh. d. Kon. Akad. d. Wetensch. in Amsterdam. 9. Decemb. 1861.

2) Leitgeb, Die Luftwurzeln der Orchideen. Denkschr. d. Akad. d. Wissensch. in Wien. 24. Bd. 1865.

bei *Ruscus* und anderen Pflanzen eine im späteren Alter der Wurzel stattgefundene Verdickung einiger unter den kurzen Zellen liegenden Parenchymzellen, bei anderen eine nachträgliche Verdickung der Aussenwände der kurzen Zellen, bei noch anderen eine spätere Verdickung der inneren Epidermiswände über den kurzen Zellen bemerkt wurde, und man in dieser Verdickung einen mechanischen Verschluss ehemaliger Durchgangsstellen erblickte.

Die Regelmässigkeit dieser Erscheinung ist jedoch noch keineswegs erwiesen, auch habe ich in älteren Stadien fast aller untersuchter Wurzeln, gleichviel ob dieselben nur einerlei oder verschiedenartige Zellen im Hypoderma hatten, eine geringe Verdickung der äusseren Wände der subepidermalen Schicht bemerkt, und kann dieser Erscheinung keine andere Bedeutung zuschreiben, als die einer mechanischen Schutzvorrichtung gegen äussere Einflüsse. Es ist bekannt, dass die Epidermis vieler Wurzeln im späteren Alter collabirt, und die subepidermale Schicht dann die schützende Funktion jener übernehmen muss; im Hinblick hierauf ist es natürlich, dass sich diese schon in früheren Stadien durch Verstärkung ihrer Aussenwände auf diesen Beruf vorbereitet.

Juel sagt in Bezug auf die Durchgangsstellen sehr richtig: „Wenn Durchgangsstellen für Wasser in dieser Scheide sein sollen, dürften sie nahe der Spitze zu suchen sein; denn weiter von der Wurzelspitze dürfte die Epidermis das Vermögen, Wasser aufzusaugen, verlieren und die epidermoïdale Zellschicht ganz impermeabel sein. Ich habe in dieser Rücksicht junge, von Haaren dicht bedeckte Wurzeln von *Agapanthus umbellatus, Clivia miniata* und *Ruscus aculeatus* untersucht, habe aber nicht finden können, dass die Wände der kurzen Zellen dünner sind, oder weniger den Säuren widerstehen, als die langen."

Schliesslich gelangt Juel zu folgendem Resultate: „Es geht aus dem vorstehenden hervor, dass man noch nicht bewiesen hat, dass die kurzen Zellen der epidermoïdalen Schicht bei unterirdischen Wurzeln Durchgangsstellen für Wasser sind. Ich muss aber gestehen, dass ich keine andere Deutung der eigenthümlichen Differenzirung dieser Zellschicht habe ersinnen können."

Auch nach meiner Ansicht ist es nicht unberechtigt, diese Erscheinung mit der radialen Saftleitung in Verbindung zu bringen, doch komme ich zu umgekehrten Resultaten wie die genannten Autoren. Mit Rücksicht auf den oben beschriebenen Inhalt der betreffenden Zellen scheint es mir nämlich zweifellos, dass die langen Zellen zur Aufnahme und Speicherung des Saftes, die kurzen zu der der plastischen Baustoffe dienen, welche für die Ernährung des Hautgewebes der Wurzel nothwendig sind. Auch die bisweilen beobachtete Erscheinung der Wellung der Wände der langen Zellen (Fig. 2, 3), während die der kurzen bei der Präparation unverändert bleiben, dürfte bei der Entscheidung der Frage, welche von beiden Zellarten speciell der Saftleitung diene, zu Gunsten der längeren ausfallen.

Für die Luftwurzeln der *Orchideen* ist, wie schon erwähnt, die wassersammelnde Eigenschaft gewisser Zellschichten allgemein bestätigt; gesteht man dieselbe den Hypodermazellen der unterirdischen Orchideenwurzeln ebenfalls zu, so ist damit auf Grund der allgemeinen Analogieen der Wachsthumserscheinungen auch die Möglichkeit derselben Funktion bei Wurzeln mit nur einerlei Zellen enthaltendem Hypoderma nicht ausgegeschlossen.

Als einen ferneren Beweis für die wasserspeichernde Fähigkeit des Hypoderma könnte man die bisweilen beobachtete Erscheinung der Wellung der radialen Zellwände ansehen. Schon Nicolai[1]), welcher die unter der Epidermis liegende Zellschicht mit dem Namen „Endodermis" bezeichnete, sagt: „Ihre radialen Wände zeigen bisweilen Wellung." Juel bestätigte dies bei *Ruscus aculeatus, Ruscus Hypoglossum, Narcissus poëticus, Narcissus Tazetta, Galanthus nivalis*; ich füge noch *Bromelia longifolia, Iris germanica, Phlox paniculata* und *Epipactis sylvestris* hinzu. Es ist erklärlich, dass bei Abgabe von Flüssigkeit aus einer Zelle die Spannung der Wände nachlässt, und diese bei fortdauerndem Wasserverlust sogar blasebalgähnlich verbogen werden können, wie in einem gewissen Gewebe der Blätter von *Peperomia*-Arten durch Westermaier überzeugend nachgewiesen worden ist.

Van Wisselingh[2]) hat die Differenzirung der subepidermalen Schicht ebenfalls einer Bearbeitung unterzogen. Nach ihm unterscheidet sich die „äussere Endodermis", wie er das Gewebe nennt, von der „inneren" dadurch, dass ihre Wände gleich in der ganzen Ausdehnung verkorkt werden; auch hat er bemerkt, dass sie bisweilen (bei *Luzula silvatica, Andropogon muricatus, Hemerocallis Kwansa* u. A.) mehrschichtig sei, und endlich ist ihm ihre an manchen Wurzeln auftretende Differenzirung in lange und kurze Zellen nicht entgangen.

Gelangt man nun nach Zusammenfassung aller erwähnter Momente zu der Folgerung, dass die Zellen des Hypoderma das von den Wurzelhaaren continuirlich aufgesogene Wasser so lange aufzuspeichern im Stande sind, bis ein Bedürfniss zur Abgabe desselben an sie herantritt, so ist andererseits zu beachten, dass ein Hineinpressen von Wasser in das innere Gewebe, ähnlich wie vom Holzparenchym in die Gefässe nicht stattfinden kann, da die Rindenzellen ja individuell abgeschlossene Organe sind, die einem so gewaltsamen Eindringen energischen Widerstand entgegenbringen würden; es scheint vielmehr einzig mittelst eines vermehrten Turgors in dem Raume einer und derselben Zelle ein bald grösseres, bald geringeres Quantum von Saft zusammengehalten zu werden, dessen Ueberschuss jederzeit nach Bedarf an das innere Gewebe abgegeben werden kann.

---

1) Nicolai, Das Wachsthum der Wurzeln. Schriften der phys. ökonom. Ges. zu Königsberg 1865.

2) Van Wisselingh, Sur l'endoderme. Arch. néerlandaises. Bd. XX.

Die feinsten Verzweigungen mancher Wurzeln zeigen ein wesentlich anders gebautes Rindengewebe, als das ihrer zugehörigen stärkeren Wurzeln. Eine Differenzirung in hypodermatische und gewöhnliche Parenchymzellen ist in diesen Fällen nicht vorhanden, sondern nur ein lückenlos verbundener Ring keilförmiger Zellen, dem bisweilen noch ein zweiter und dritter aus ebensolchen Zellen folgt (Fig. 6a und b). Es fragt sich nun, welcher Art des Rindengewebes diese Formation entspricht. — Da die grösste Anzahl der Wurzelhaare stets an den jüngsten Partieen der feinsten Wurzelverzweigungen zu suchen ist, so können diese wohl hauptsächlich als wasseraufnehmend betrachtet werden, während das Rindenparenchym der stärkeren Wurzeln mehr zur Ansammlung der Baustoffe dient. Es lag daher die Vermuthung nahe, dass das geringe Parenchym der feinen Nebenwurzeln dem Hypoderma der stärkeren Wurzeln entspräche, zumal der lückenlose Verband und der geringe plastische Inhalt darauf schliessen lassen. Die Behandlung der Schnitte mit concentrirter Schwefelsäure bildet einen ferneren Beweis für die Richtigkeit dieser Annahme, da in den meisten Fällen das fragliche Gewebe dadurch kaum angegriffen wurde.

In dem das Hypoderma nach innen begrenzenden Gewebe zeigen sich bisweilen ebenfalls Einrichtungen, welche den radialen Saftstrom beeinflussen. So findet sich bei vielen Wurzeln z. B. bei *Panicum miliaceum, Carex hirta, Zea Mais, Bromelia longifolia* und anderen (Fig. 1, 4, 7) unter dem Hypoderma ein mehrschichtiger Ring kleinzelligen Gewebes, dessen einzelne, ebenfalls lückenlos miteinander verbundene Elemente sich allmählig verdicken und schliesslich nur mechanischen Funktionen zu dienen scheinen. Sie zeigen dann gewöhnlich korkähnliche Reactionen, aus welchem Grunde dieses Gewebe von Juel[1]) mit „Suberoïd“ bezeichnet wird.

Nach meinen Beobachtungen bleiben bisweilen, z. B. bei *Maranta arundinacea* und *Bromelia longifolia* (Fig. 7, 4) einzelne Stellen des Ringes noch lange Zeit dünnwandig und bilden dann echte für den Austausch des Saftes bestimmte Durchgangsstellen, ähnlich denen der verdickten Endodermis. In anderen Fällen lassen sich solche Durchgangsstellen nicht finden; es muss dann angenommen werden, dass die Membranverdickungen des Suberoïdgewebes so lange permeabel bleiben, wie ein Saftaustausch nöthig ist.

Es will mir scheinen, als sei die Bildung und Beschaffenheit dieses Gewebes nicht ganz unabhängig von äusseren Einflüssen, von der Zusammensetzung des Nährsubstrates, von der Art und Weise der Cultur der Pflanze u. s. w., und ich behalte mir ein näheres Eingehen auf diese Verhältnisse an dieser Stelle vor.

Ueberall, wo dieser kleinzellige Schutzring vorhanden ist, tritt das Hypoderma sehr klar und deutlich hervor. Die Wahrscheinlichkeit der wasser-

---

[1]) Auf Grund des von Olivier, Recherches sur l'appareil tégumentaire des racines. Ann. d. sc. nat. 6. sér. 11. t. 1881. pag. 58 gesagten.

speichernden Eigenschaft desselben vergrössert sich daher im Hinblick auf diese Erscheinung; denn wenn die Zellen des Hypoderma denselben Funktionen zu dienen hätten, wie ihre inneren Nachbarinnen, so läge ein Grund zu ihrem anders gestalteten Bau nicht vor.

Auch das innerste Grundparenchym der Rinde zeigt Eigenthümlichkeiten, welche mit dem radialen Saftstrome zusammenhängen; doch ist es hier nur die Anordnung der Elemente, welche in Betracht kommt. Ich bemerkte zwei verschiedene Formen des Verbandes: erstens, streng radial gestellte Zellen, deren also je vier einen Intercellularraum bilden, und zweitens: einen derartigen Verband, bei welchem immer je drei Zellen einen Zwischenraum einfassen.

Die erste Ordnung traf ich bei allen untersuchten Wasserpflanzen, (mit Ausnahme der ein ganz anomales Rindengewebe besitzenden, wie *Acorus Calamus*, *Sagittaria sagittaefolia*, die letztere mehr bei den Bewohnern festen Bodens an.

In dem fraglichen Gewebe der Wasserwurzeln traf ich ausserdem meist grosse Lücken an, welche von radialen Zellstreifen begrenzt waren. Die Entstehungsweise dieser Cavernen ist die, dass zunächst ein Auseinanderweichen der betreffenden Zellstreifen stattfindet, und die so entstandenen Lücken durch Zerreissen der benachbarten Membranen vergrössert werden (Fig. 5).

Durch das unversehrte Erhaltenbleiben einiger radialer Zellstreifen ist der radiale Saftstrom immer gesichert. In allen Fällen zeigten sich ausserdem die beiden innersten Zellschichten rings um die Endodermis vollkommen erhalten, und auch bei den erwähnten Wurzeln mit anomalem Rindengewebe hatten diese die Gestalt und Anordnung gewöhnlicher isodiametrischer Parenchymzellen. Diese beiden Factoren müssen daher wohl für die Vermittelung des Saftstromes nothwendig sein, worauf meines Wissens bis jetzt noch nicht aufmerksam gemacht worden ist.

Die Bedeutung des Endodermisringes für die Leitung des Saftes ist von Schwendener[1]) erschöpfend dargestellt worden; auf einen Punkt möchte ich an dieser Stelle jedoch noch hinweisen, welcher bisher noch nicht besprochen worden ist. Die Verdickungen der Endodermiszellen beginnen bekanntlich nicht gleich über dem Vegetationspunkte, sondern erst in einer gewissen Höhe der Wurzel. Nach abgeschlossenem Längenwachsthum dieser bilden sich jedoch auch an den unteren, bisher dünnwandigen Stellen Verdickungen, sodass die Region derselben alsdann schon dicht über der Spitze beginnt.

Was die Art und Weise der Verstärkungen der Zellwände der Endo-

[1]) Schwendener, Die Schutzscheiden und ihre Verstärkungen. Abhandl. d. K. Akad. d. Wissensch. Berlin 1882.

dermis mit ihrer Tüpfelung und Freilassung von Durchgangsstellen, sowie die chemische Beschaffenheit ihrer Membranen in Bezug auf die Erreichung der verschiedenen Zwecke der Festigung, des Schutzes und der Saftleitung anbetrifft, so herrscht eine solche Mannigfaltigkeit der Erscheinungen, dass ich es für zweckmässiger halte, dieselben von Fall zu Fall zu besprechen, als hier schon alle Möglichkeiten zu erwähnen. Es sei nur bemerkt, dass in keiner Wurzel, so lange das Rindengewebe noch vegetirt, durch die Endodermis dem Austausch des Saftes ein Hinderniss erwächst. Ist die Membran der Endodermiszellen ringsum verdickt, so zeigt sie wenigstens Tüpfelung, welche zur Ermöglichung des Wassertransportes beiträgt; sind Durchgangsstellen vorhanden, so ist die Bildung von Poren nicht nothwendig, in vielen Fällen aber dennoch vorhanden.

Ebenso wie die Endodermis spielt auch das Pericambium bezüglich der Wasserleitung eine mehr negative Rolle, dürfte in manchen Fällen für diesen Zweck sogar vollkommen entbehrlich sein, wie das Beispiel von *Scirpus lacustris* zeigt, wo die primären Gefässe unter Durchbrechung des Pericambiums bis direct an die Endodermis reichen. Andererseits ist es jedoch der Leitung des Wassers selbst in den Fällen nicht hinderlich, wo seine Membranen sklerotisiren; es bilden sich dann stets Tüpfel, welche mit den correspondirenden der verdickten Endodermiszellen zu Porenkanälen werden, die dem Saftaustausch ihre bequemen Bahnen offenhalten.

Was die Uebertragung des Saftes nach den Gefässen betrifft, so ist das Bestreben der Gefässstrahlen gewisser Wurzeln zu erwähnen, sich am Pericambium nach beiden Seiten auszubreiten, dem herantretenden Safte mithin eine möglichst grosse Absorptionsfläche darzubieten, während bei anderen Wurzeln die Strahlen mit einem einzigen Gefäss am Pericambium beginnen, aber dann an den Flanken von saftleitendem Gewebe begrenzt sind.

Charakteristisch für viele Wurzeln ist auch der Umstand, dass — im Gegensatze zu den Bündeln des Holzes der Stämme, in denen das die Gefässe seitlich begrenzende Parenchym dünnwandig bleibt — die analoge Zellschicht der Wurzeln das Bestreben hat, zu verholzen, wobei gewöhnlich Tüpfelung eintritt.

Im Innern des Gefässbündelcylinders der Monocotyledonenwurzeln bildet sich vielfach ein Gewebe mechanischer Zellen aus, dessen Elemente bisweilen zwischen Sieb- und Holztheil hindurchgehend, bis an das Pericambium heranreichen. Durch diese Elemente würde nun der Saftaustausch zwischen Xylem und Phloëm unterbrochen werden, wenn sich nicht sporadisch dünnwandig gebliebene Elemente fänden, welche denselben wiederherstellen.

Diese Erscheinungen sind in den meisten Monocotyledonenwurzeln in höherem oder geringerem Grade anzutreffen und von Reinhardt[1]) speziell für Musaceen und Palmen bearbeitet worden.

---

[1]) Reinhardt, Das leitende Gewebe einiger anomal gebauten Monocotylenwurzeln. Pringsh. Jahrb. für wissensch. Botanik, Bd. XVI. Heft 3.

Die Anordnung der Gefässe zum Siebtheil, sowie die der übrigen Elemente des axilen Cylinders bieten hinsichtlich des radialen Saftstromes wenig bemerkenswerthes.

Als wichtiges Moment für die Versorgung der Wurzel mit Wasser ist noch des Auftretens von Mycorrhizen zu erwähnen, deren Fähigkeit, den gesammten Organismus der Pflanze mit der nöthigen Flüssigkeit zu versorgen, zuerst von Frank[1]) erkannt worden ist. Im Laufe der Untersuchungen sind mir Mycorrhizen vielfach begegnet, und, ohne mich mit denselben näher zu beschäftigen, fiel auch mir die bekannte Erscheinung auf, dass an denjenigen Wurzelstellen, welche mit dem Pilze behaftet waren, Haare nur spärlich oder garnicht aufzufinden waren, sodass der Wurzelpilz geeignet sein muss, die Arbeit der Haare voll und ganz zu übernehmen.

Hieran möchte ich noch einige Bemerkungen über die chemische Beschaffenheit einiger Zellenmembranen in Bezug auf ihre Permeabilität knüpfen.

Bei den vielen Versuchen, welche ich mit den betreffenden Wurzelschnitten anstellte, war ich mitunter über das völlig unerwartete Verhalten der einzelnen Organe den verschiedenen Chemikalien gegenüber überrascht. Besonders waren es die Epidermis mit den Haaren, das Hypoderma und die Endodermis, deren Reactionen es in vielen Fällen unmöglich machten, die Substanz der betreffenden Membranen mit den uns bisher als zellwandbauend bekannten Stoffen zu identifiziren, indem meist eine Combination der Eigenschaften zweier oder mehrerer der letzteren beobachtet wurde. Es handelte sich in den untersuchten Fällen um lebende unverdickte Membranen, welche sich noch im imbibitionsfähigen Zustande befanden und trotzdem Reactionen zeigten, welche denen des Korkes ähnlicher waren, als denen des Holzes und der Cellulose. Die oben genannten Gewebe besassen beispielsweise schon in sehr jugendlichen Stadien eine ungemeine Resistenz gegen Schwefelsäure wie Chromsäure, und färbten sich mit allen möglichen Substanzen, so auch mit allen Korkreagentien ohne Schwierigkeit. Da nun sowohl Haare, als Epidermis und Endodermis der Wurzeln im jugendlichen Alter permeable Organe sein müssen, mit dem Begriffe der Verkorkung jedoch gewöhnlich der einer relativen Impermeabilität verbunden wird, so ergiebt sich hieraus eine Unsicherheit für die Kenntniss der Substanz der erwähnten Membranen, welche aufzuklären, und damit zugleich auf die physiologische Bedeutung dieser im Pflanzenreiche so allgemein verbreiteten Erscheinung ein Licht zu werfen, ein verdienstvolles Werk eines Meisters der microchemischen Forschung wäre.

Im Laufe dieser Arbeit finden sich öfters die Ausdrücke „im späteren Alter“ und „in höheren Regionen der Wurzel“. Mit diesen Bezeichnungen

[1]) Frank, Berichte d. D. bot. Ges. 1885. Heft 4 u. 11; 1887 Heft 8; 1888 Heft 7.

ist das Stadium gemeint, in welchem die Wurzel kein Wasser mehr von aussen aufnimmt, daher nicht mehr ein centripetaler, sondern nur noch ein centrifugaler Saftverkehr stattfinden kann. Es wäre vielleicht präciser gewesen, diese Stellen in ausgemessenen Entfernungen über der Wurzelspitze auszudrücken, was auch bisweilen geschehen ist; doch würde in Anbetracht der verschieden grossen Wachsthumsenergie der Wurzeln verschiedener Individuen derselben Art diese Angabe sich jedesmal nur auf den Einzelfall beziehen können. Mit obigen Bezeichnungen ist dagegen ein ganz bestimmtes Lebensstadium der Wurzel gemeint, welches irrthümliche Deutungen ausschliesst.

Die einfachsten nur zur Aufnahme des Wassers bestimmten unterirdischen Organe, denen wir im Pflanzenreiche begegnen, die Rhizoïden der Moose [1]), haben mit den echten Wurzeln weniger Aehnlichkeit, als mit den Haaren derselben, deren Funktionen sie thatsächlich in den Regionen ihrer Spitzen übernehmen, wo sie mit den kleinen Bodentheilchen in der charakteristischen Weise wie jene verwachsen. Da das Rhizoïd auf dem Querschnitt aus nur einer einzigen Zelle besteht, so kann hier von einem radialen Saftstrome natürlich nicht die Rede sein, und ich beschränke mich an dieser Stelle auf die Erwähnung ihrer braunen Farbe, welche mit der Färbung der Haare der Gefässcryptogamenwurzeln übereinstimmt, und gleich dieser durch Stoffe hervorgebracht werden muss, welche der Aufnahme des Wassers nicht hinderlich sein können.

Gefäss-Kryptogamen.

Die Wurzeln der Gefäss-Kryptogamen zeigen als charakteristisches Merkmal eine Braunfärbung der Membranen und bisweilen auch des Zellinhaltes, der Haare, der Epidermis und bisweilen auch eines Theiles des Rindengewebes. Die Spitzen der Wurzeln sind farblos, schon in einer Höhe von circa 5 mm beginnt jedoch die Färbung aufzutreten, welche circa 30 bis 50 mm höher eine definitive tiefdunkelbraune Nüance annimmt. Ist man nun gewohnt, diese Braunfärbung von Membranen der zarteren Organe einer mehr oder minder starken Verkorkung zuzuschreiben, andererseits mit dem Begriffe der Verkorkung den einer relativen Impermeabilität zu verbinden, so stösst man hier auf Widersprüche, die ein näheres Eingehen auf die Natur der bräunenden Substanz nöthig machen.

Bei den Wurzeln der Gefäss-Kryptogamen ist nämlich die Vertheilung der Haare derartig, dass die ersten derselben in der Region der beginnenden Bräunung entstehen, dass sie an Zahl und Länge nach oben zunehmen, und das Maximum ihrer Ausbildung circa 3 bis 5 cm höher erreichen, in einer Region, wo die Membranen des gesammten Rindengewebes mit Aus-

[1]) Sachs, Lehrbuch der Botanik, pag. 366.

nahme der Endodermis durch Einlagerung einer braunen Substanz eine so bedeutende Umwandelung erlitten haben, dass die Cellulosereaction mittelst Chlorzinkjodlösung nicht mehr zu erzielen ist. Sehr eigenthümlich ist dabei der Umstand, dass die Membranen der Haare dieselbe Färbung zeigen, wie die der Rindenzellen, wodurch die Frage nach der Identität dieser Haare mit echten Wurzelhaaren eine gewisse Berechtigung erhält. Das charakteristische Verwachsen der Haare mit den Theilchen des Bodens, welches hier wie bei allen echten Wurzelhaaren, sowie bei den ebenfalls braun gefärbten Rhizoïden der Moose unschwer zu beobachten ist, schliesst jedoch jeden Zweifel darüber aus, dass wir es hier mit echten wasseraufsaugenden Organen zu thun haben, und es bleibt nur noch übrig, die Natur des bräunenden Stoffes zu ermitteln. In concentrirter Schwefelsäure löste sich das Rindengewebe der *Filicineen*-Wurzeln nur an einigen Stellen, das der *Equisetaceen*-Wurzeln dagegen ohne Schwierigkeit vollkommen; doch zeigten die Haare, die Epidermis und die Endodermis in allen Fällen eine grössere Resistenz gegen dieses Agens. In Chromsäure lösten sich die Schnitte vollkommen auf. Bei der Behandlung mit Kali wurde die braune Membranfärbung in eine tief violette verwandelt, wobei Farbstoff in Lösung ging. Durch schweflige Säure wurde die färbende Substanz nicht vollständig zerstört. Bei längerer Behandlung mit Eisenchlorid nahmen die Membranen tiefschwarzbraune Färbung an; beim längeren Liegen in Kalimulchromatlösung wurden sie etwas dunkler als in der frischen Wurzel, und es entstand ein starker brauner Niederschlag in den innersten Zellen der Rinde.

Aus diesen Versuchen schliesse ich, dass die Bräunung nicht von einer Verkorkung, sondern von einer Ablagerung von Gerbstoffen und ihren Wasserabspaltungsproducten, den Phlobaphenen, herrührt.

Hinsichtlich ihrer Anatomie, soweit diese auf die Frage des radialen Saftstromes Bezug hat, unterscheiden sich die Wurzeln der *Filicineen* nicht unwesentlich von denen der *Equisetaceen*.

Filicinae.

Unter der mit Haaren reich besetzten Epidermis befinden sich das 1 bis 10-schichtige Rindengewebe, dessen isodiametrische Zellen lückenlos mit einander verbunden sind und durch die Grösse ihrer Lumina auffallen.

Die aus einer Schicht tangential gestreckter Zellen bestehende Endodermis bleibt dünnwandig, ebenso wie das einschichtige Parenchymium, an welches die beiden Gefässstrahlen mit ihren Erstlingen grenzen.

Der lückenlose Verband des Rindengewebes, sowie die Resistenz des letzteren gegen concentrirte Schwefelsäure und die auffallende Grösse seiner Elemente lassen die Annahme nicht unberechtigt erscheinen, dass hier das gesammte Rindengewebe als wasserspeicherndes Hypodermis [illegible] zumal gewöhnliche Parenchymzellen nicht zu finden sind.

Zur Untersuchung gelangten Wurzeln von *Pteris aquilina*, *Pteris aquilina*, *Aspidium Filix mas* und *Aspidium* [illegible]. Die aus

tomischen Verschiedenheiten derselben haben auf die Frage der Wasserleitung keinen Bezug.

Equisitinae.

Die Epidermiszellen, deren Behaarung der der *Filicineen*-Wurzeln analog ist, zeichnen sich durch erhebliche radiale Streckung, sowie durch auffallende Grösse ihrer Lumina aus, in welchen sie ein beträchtliches Quantum von Flüssigkeit zu sammeln im Stande sind.

Mit der Epidermis stehen eine bis mehrere Schichten isodiametrischer Zellen in lückenlosem Verbande. Diese Zellen zeigen schon 4 mm über der Wurzelspitze verdickte Wände, welche in den Regionen, wo ein centripetaler Saftstrom nicht mehr stattfindet, verhärten, Tüpfel bekommen und sowohl Holz- wie Korkreactionen geben. Als wasserspeicherndes Hypoderma können diese Zellschichten trotz ihres lückenlosen Verbandes nicht angesprochen werden, da ihnen die radiale Streckung, die Unlöslichkeit in concentrirter Schwefelsäure, sowie das Kennzeichen des Mangels an plastischen Substanzen fehlen; ihre Aufgabe ist vielmehr in der Festigung des Gewebes zu suchen, wobei die Tüpfelbildung darauf schliessen lässt, dass auch in diesen Stadien ein Saftaustausch noch erforderlich ist.

An diese lückenlos verbundenen Zellen reihen sich nach innen mehrere Schichten dünnwandig bleibender, streng radial angeordneter Zellen, welche den axialen Cylinder, mit der aus tangential gestreckten, dünnwandig bleibenden Elementen der Endodermis, und die innerste, das fehlende Pericambium ersetzende Parenchymschicht derartig umgeben, dass ein directer radialer Saftstrom nach den Gefässen hin erfolgen kann.

Coniferen.

Bei den Wurzeln der Coniferen ist zunächst ein erheblicher Unterschied zu machen zwischen den saugenden Stellen der unverletzten Triebwurzeln und den Mycorrhizen-Saugwurzeln. Während letztere ausschliesslich der Wasseraufnahme dienen und nach Vollendung dieser Funktion absterben, ohne in das Stadium des Dickenwachsthums eingetreten zu sein, kommt bei ersteren als wesentliches Moment für die Beeinflussung des radialen Saftstromes das zeitige Beginnen des sekundären Dickenwachsthums in Betracht, nach dessen Eintreten ein centripetaler Saftstrom naturgemäss nicht mehr stattfinden kann, sondern nur noch ein solcher in centrifugaler Richtung, welcher sich von dem der oberirdischen Organe im Prinzip nicht unterscheidet. Für die Ermittelung besonderer Einrichtungen für die Aufnahme und radiale Leitung des Saftes können daher in beiden Arten der Wurzeln nur diejenigen Zonen in Betracht kommen, in denen noch alle Elemente der Rinde, einschliesslich der Endodermis, dünnwandig sind; doch zeigen diese bei den untersuchten Coniferen-Wurzeln eine so einfache Anatomie, dass hinsichtlich unserer Frage nur wenige Momente erwähnenswerth erscheinen.

Unter der mit Haaren meist reich besetzten Epidermis befindet sich das aus gewöhnlich lückenlos verbundenen, im Querschnitt isodiametrischen Zellen bestehende Rindengewebe, dessen innerste Schicht bei *Taxus* die charakteristischen Verdickungen der radialen Wände zeigt, deren Vorkommen im Rindengewebe vieler Wurzeln von van Tieghem[1]) einer speciellen Bearbeitung unterzogen worden ist.

Alle untersuchten Coniferenwurzeln waren mit dem Mycorrhizenpilze versehen, dessen Vorkommen und physiologische Bedeutung für diese Familie zuerst von Rees[2]) nachgewiesen worden ist.

Eine bestimmte Differenzirung hinsichtlich der Anordnung und des Inhaltes habe ich in den Zellen des Rindengewebes nicht bemerkt; die erhebliche Resistenz gegen concentrirte Schwefelsäure, welche die ersten beiden subepidermalen Schichten einiger Wurzeln zeigten, genügt nicht, um ihnen eine besondere Funktion zuzusprechen.

Bei *Taxus* finden sich im Grundgewebe der Rinde sehr kleine Intercellularräume; das gesammte, ausserhalb des Pericambiums liegende Gewebe giebt hier die Xylophilinreaction. Erwähnenswerth ist noch der braune Farbstoff, mit welchem die Membranen und zum Theil auch der Inhalt der Wurzelhaare, der Epidermis und bisweilen mehrerer Schichten der Rinde durchsetzt sind, ohne dass die Einlagerung desselben die Permeabilität der betreffenden Membranen verringerte, sowie der Umstand, dass die färbenden Substanzen dieselben Reactionen geben wie bei den untersuchten Cryptogamenwurzeln.

Zur Berücksichtigung gelangten die Wurzeln von *Pinus silvestris, Pinus Strobus, Abies alba, Araucaria excelsa, Araucaria imbricata*[3]) und *Taxus baccata.*

Monocotyledonen.

Der Typus der Monocotyledonenwurzeln ist bei den ersten der in Folgendem abgehandelten Wurzeln erschöpfend wiedergegeben. Zu diesem Zwecke ist auf die Anatomie der betreffenden Wurzeln auch in denjenigen Erscheinungen, welche mit dem radialen Saftstrome nicht unmittelbar zusammenhängen, genauer eingegangen worden, um bei den übrigen Wurzeln auf diese zurückzugreifen und Wiederholungen thunlichst vermeiden zu können.

Nur die das Thema berührenden Momente sollen von Fall zu Fall ausführlicher besprochen werden.

---

[1]) Van Tieghem: Sur le réseau de soutien de l'écorce de la racine. (Ann. sc. nat. Paris, 7. sér. T. 7. 1888, p. 375—378.

[2]) Rees: Sitzungsberichte der physikalisch-medicinischen Societät. Erlangen. 16. Mai 1880.

[3]) Haubenlose Wurzeln (Wurzelschnüre), wie sie Swen Berggreen bei Araucaria- und Podocarpusarten, sowie van Tieghem und Borzi bei letzteren fanden, hatte ich nicht zu beobachten Gelegenheit. Bot. Centralblatt 31, p. 257.

Liliiflorae.

Lilieae: Yucca gloriosa.

Die junge Saugwurzel zeigt eine spärlich mit Wurzelhaaren bekleidete, aus etwas papillös ausgestülpten Zellen bestehende Epidermis. Unter dieser befindet sich ein einschichtiges Hypoderma, dessen auf dem Querschnitt sechseckige, gradflächige Zellen deutlich radial gestreckt sind, und eine Differenzirung in lange und kurze Zellen zeigen, wodurch sie sich von den Elementen des inneren Rindengewebes auffallend unterscheiden, ebenso wie durch ihre grösseren Lumina und ihren geringeren plastischen Inhalt.

Mit dem Hypoderma, wie untereinander, sind noch vier weitere Zellschichten lückenlos verbunden, welche schon sehr frühzeitig radiale Streckung annehmen, ihre Membranen ein wenig verdicken und einen schützenden Suberoïdcylinder um die Wurzel bilden, dessen innerste Zellschicht Xylophilinreaction zeigt, während die Membranen der äusseren Reihen, wie die der Epidermis, sich den Reagentien gegenüber korkähnlich verhalten.

Das im übrigen noch circa achtschichtige parenchymatische Grundgewebe der Rinde besteht aus isodiametrischen Zellen, welche unregelmässig angeordnet sind, und Intercellularräume bilden, welche von je drei bis vier Zellen begrenzt sind.

Die im jugendlichen Zustande aus ziemlich regelmässigen Zellen bestehende Endodermis verdickt im späteren Alter ihre Membranen an den inneren tangentialen und an den radialen Wänden, wodurch die betreffenden Zellen ein U-förmiges Aussehen bekommen, unter Bildung von Tüpfelung und Durchgangsstellen, welche fast vor jedem Gefässstrahle bemerkbar sind. Zugleich mit der Endodermis verholzen die Wände der an sie grenzenden innersten Rindenparenchymschicht, ebenso wie die radialen der folgenden Lage; die Verdickungen zeigen dann unregelmässige Tüpfel, welche mit denen der Endodermis communiciren.

Bei dieser Wurzel bleibt das gesammte Rindengewebe erhalten, und dient zur Aufhäufung plastischer Baustoffe. Das Gewebe muss also zugleich gefestigt und ernährt werden. Zur Erreichung des ersteren Zweckes dient die Bildung des äusseren Suberoïd-Schutzringes, sowie die Verdickung der Wände der Endodermis und der beiden angrenzenden Zellschichten; der zweite wird erreicht durch Erhaltung der Durchgangsstellen in der Endodermis, sowie durch die Tüpfelung der verdickten Membranen, durch welche Einrichtungen dem radialen Saftstrome in centrifugaler Richtung bequeme Wege zur Verfügung gestellt werden.

Vom einschichtigen Pericambium aus erstrecken sich zwischen Holz- und Siebtheil zusammenhängende Reihen parenchymatischen Gewebes, das Phloëm nach innen umfassend, das Xylem seitlich begrenzend, und so eine Trennung, oder in physiologischer Hinsicht zum Zwecke des Saftaustausches eine Verbindung beider Gewebe herstellend.

Diese dünnwandigen Elemente, welche dem Holzparenchym der ober-

irdischen Organe entsprechen, sind nebst dem Pericambium als diejenigen Organe zu betrachten, welche das aufgenommene Wasser aus der Rinde nach den Gefässen transportiren und welche zugleich als die Vermittler, zwischen Holz- und Siebtheil funktioniren. Ihre Erhaltung ist für den Saftaustausch durchaus nothwendig, was sich bei der Wurzel von *Yucca gloriosa* deutlich zeigt, da im späteren Alter der Wurzel die zahlreich auftretenden mechanischen Elemente, welche sich aus dem Innern des Cylinders bisweilen bis an das Pericambium fortsetzen, doch keine vollständige Trennung von Xylem und Phloëm bewirken, sondern stets einige Stellen offenlassen, an denen das Gefäss-Parenchym erhalten bleibt und in Wirkung treten kann.

Die Orientirung der übrigen Organe des 12- bis 31- vielleicht auch mehrstrahligen Gefässbündelcylinders hat auf den radialen Saftstrom wenig Bezug, stimmt mit dem normalen Bau der *Monocotylen*-Wurzeln überein und kann daher an dieser Stelle übergangen werden.

Melanthieae: Veratrum nigrum.

An der Wurzel dieser Pflanze fällt zunächst der gänzliche Mangel an Haaren auf, deren Funktionen daher die etwas papillös ausgestülpten Epidermiszellen übernehmen müssen.

Mit diesen steht eine Schicht im Querschnitt etwas radial gestellter Zellen in lückenloser Verbindung, welche sich von dem darunterliegenden Gewebe ausser durch den Mangel an Intercellularräumen noch durch den an plastischen Baustoffen, sowie durch die Resistenz ihrer Membranen gegen concentrirte Schwefelsäure und durch den Umstand unterscheiden, dass ihre Wände im späteren Alter korkähnlich verändert werden. Diese subepidermale Schicht kann also als echtes wasserspeicherndes Hypoderma angesprochen werden.

Das Parenchym der Rinde besteht aus unregelmässig angeordneten, geräumigen, kleine Intercellularräume bildenden, im Querschnitt isodiametrischen Zellen, welche, wie bei den meisten Monocotyledonen, auch dieser Wurzel als Reservestoffspeicher erhalten bleiben.

Ihnen schliesst sich nach innen die einschichtige Endodermis an, deren Membranen sich schon in sehr jugendlichem Alter, wo sie noch vollkommen dünnwandig und permeabel sind, gegen concentrirte Schwefelsäure vollkommen resistent erweisen.

Hinsichtlich dieser Erscheinung ist daher hier zu wiederholen, was im allgemeinen Theil dieser Arbeit über die korkähnliche Beschaffenheit mancher Membranen bemerkt worden ist.

Schon 3 bis 4 cm über der Wurzelspitze beginnen innerhalb der Membranen einzelner Endodermiszellen Verdickungen aufzutreten, und zwar liegen diese Zellen stets der Mitte je eines Siebtheiles gegenüber. Die Verdickungen zeigen sich dann nach und nach in den benachbarten Endodermiszellen, doch bleiben den Gefässstrahlen gegenüber noch lange Zeit

Durchgangsstellen offen. In den alten Wurzeln werden diese endlich ebenfalls geschlossen. Die Verdickungen sind wie bei *Yucca* U-förmig, deutlich geschichtet, mit zahlreichen Tüpfeln versehen und geben die Xylophilinreaction. In älteren Stadien der Wurzel verdicken auch die äusseren Tangentialwände der Endodermis, sowie bisweilen die an diese grenzenden Membranen der innersten Parenchymschicht. Diese sind dann ebenfalls getüpfelt, und es wird durch diese Einrichtungen das Zustandekommen des centrifugalen Saftverkehrs in der ganzen Wurzel ermöglicht.

Der Bau des Gefässbündelcylinders unterscheidet sich von dem der *Yucca*-Wurzel sehr wenig, und ist hinsichtlich unserer Frage das für diese gültige zu wiederholen.

Smilaceae: Dracaena rubra.

Die mit Haaren in normaler Weise versehene Epidermis der Wurzel zeigt nichts auffallendes.

Unter ihr befindet sich ein dreischichtiges Hypoderma, welches mit Ausnahme der radialen Streckung der Zellen alle Eigenthümlichkeiten dieses Gewebes in deutlicher Weise zeigt. Die äusserste Schicht desselben lässt eine Differenzirung in lange und kurze Zellen erkennen.

Das unter Bildung von Intercellularräumen nicht sehr regelmässig angeordnete Gewebe der inneren Rinde bleibt auch hier als Stapelplatz für Baustoffe erhalten, und muss daher dauernd ernährt werden, auf welchen Zweck verschiedene Einrichtungen hinweisen. Die tangential gestreckten Zellen der Endodermis verholzen nämlich in späterem Alter an den vertikalen Wänden; doch bleiben in der gesammten Wurzel Durchgangsstellen erhalten. Die verholzten Membranen zeigen ausserdem Tüpfelung. Oft wird auch die innerste Schicht des Rindengewebes sowie das Pericambium in die Sklerose hineingezogen und zwar an den Stellen, welche den verdickten Zellen der Endodermis benachbart sind.

Die uns hier zum ersten Male begegnenden Verdickungen des Pericambiums, sowie die der innersten Rindenschichtenmembranen bilden ebenfalls Tüpfel, welche mit denen der Endodermis communiziren.

Am Bau des Gefässbündelcylinders ist bemerkenswerth, dass sich jeder Gefässstrahl am Pericambium, den Durchgangsstellen gegenüber, nach beiden Seiten hin zu mehreren Elementen (engen Spiralgefässen) ausbreitet, um der Aufnahme des Wassers eine möglichst grosse Absorptionsfläche darzubieten.

Juncaceae: Juncus obtusiflorus.

Der Bau dieser Wurzeln ist der für die monocotylen Wasserpflanzen und auch für die dicotylen, soweit das secundäre Dickenwachsthum bei diesen nicht in Betracht kommt, typische; mit seiner Beschreibung ist zugleich die der übrigen untersuchten Wasserwurzeln fast erschöpft, und es handelt sich bei diesen dann nur noch um die Erwähnung geringer Abweichungen.

Die Epidermis ist mit langen und starken Haaren reich versehen.

Unter ihr befindet sich ein einschichtiges mit allen charakteristischen

Eigenthümlichkeiten ausgestattetes Hypoderma, unter diesem zwei Schichten ebenfalls lückenlos verbundener englumiger Zellen, welche nach dem Aufhören der Wasseraufnahme an ihren Vertikalwänden verholzen[1]).

Das innere Rindengewebe besteht aus streng radial angeordneten Zellen, von denen immer je vier einen Intercellularraum bilden. Schon wenige Centimeter über der Spitze beginnen einige Radialstreifen dieses Rindengewebes auseinander zu weichen, auf diese Weise zuerst kleine schizogene Spalten bildend, welche allmählig durch Zerreissen der sie begrenzenden Zellen zu grossen Luftlücken werden. In allen Fällen bleiben jedoch die äusseren lückenlos verbundenen, sowie mehrere der innersten Zellschichten der Wurzel erhalten, und hängen dann mittelst der fadenartigen Trümmer des Grundgewebes zusammen.

Die Endodermis verdickt in den Regionen, wo eine Aufnahme flüssiger Nahrung nicht mehr erfolgt, allmählig an allen vertikalen Wänden ohne Bildung von Tüpfeln oder Freilassung von Durchgangsstellen. An der Verdickung nehmen die benachbarten zwei bis drei Zellschichten des Rindenparenchyms ebenfalls Theil[2]). Die Substanz der Verdickungen zeigt Holz- und Korkreactionen.

Durch den Eintritt der Sklerose wird das Absterben des die Endodermis umgebenden Gewebes bedingt; dieses bleibt jedoch als todter Schutzmantel am Gefässbündelcylinder haften. Bei den Wurzeln der Wasserpflanzen ist hinsichtlich des radialen Saftstromes zu vermuthen, dass derselbe nach Bildung der Lücken unterbrochen werden würde, wenn das Rindengewebe nicht die streng radiale Anordnung seiner Zellen zeigte. Es wird durch diese Einrichtung ein Saftstrom auch in den Fällen ermöglicht, wo nur noch wenige zusammenhängende radiale Zellstreifen vorhanden sind.

Ob die Erhaltung der die Endodermis umkleidenden Zellschichten ebenfalls direct für die Vermittelung der Wasserleitung bestimmt ist, bedarf einer näheren Untersuchung; doch scheint der frühzeitige Eintritt der Veränderungen im Rindengewebe, zu einer Zeit, wo der radiale Saftstrom noch nicht unterbrochen ist, darauf hinzudeuten.

Amaryllideae.

Die Wurzeln der *Amaryllideen* charakterisiren sich durch das Vorhandensein eines wohl ausgebildeten Hypoderma's, welches bei einigen Arten einschichtig, bei anderen mehrschichtig ist, in allen Fällen jedoch die Differenzirung der äussersten Schicht in lange und kurze Zellen zeigt. Die Angabe von Juel, welcher letzteres Verhältniss bei sechszehn Arten fand, kann ich bei einigen derselben bestätigen, und füge noch *Amaryllis formosissima* und *Agave americana* hinzu.

Amaryllis formosissima.

Die Anatomie dieser Wurzel ist eine sehr einfache, und zeigt mit Aus-

1) Die Verholzung dieser Membranen tritt nicht bei allen Wasserwurzeln auf.

2) Auch diese Erscheinung ist nicht bei allen Wasserwurzeln verbreitet.

nahme des Vorhandenseins eines einschichtigen, aus abwechselnd langen und kurzen Zellen bestehenden Hypoderma's wenig bemerkenswerthes.

Interessant ist das Verhalten der jungen Wurzelpartien gegen concentrirte Schwefelsäure. Es lösen sich in dieser nämlich nur die zwischen Hypoderma und Endodermis gelegenen Elemente, sowie die des Gefässbündelcylinders mit Ausnahme der Gefässe selbst. Die Wurzelhaare werden dabei gelblichbraun, und ihre Membranen wellen sich fast unmerklich, im Uebrigen erscheinen sie völlig intact, ebenso wie die Wände der Epidermis, des Hypoderma's, dessen innere Vertikalwände jedoch bisweilen gelöst werden, und der Endodermis, und zwar schon in ganz jugendlichen Wurzelstellen, wo, auch wenn partielle Verkorkung eingetreten sein sollte, die betreffenden Organe doch noch diosmotisch thätig sein müssen.

Agave americana.

Unter der kleinzelligen, mit Haaren reich besetzten Epidermis findet sich hier ein dreischichtiges Hypoderma, dessen Zellen einen mehr als doppelt so grossen Querdurchmesser haben, als die der Epidermis, und dessen äusserste Schicht aus alternirend langen und kurzen Zellen besteht.

Unter diesem Gewebe liegt ein vielschichtiges Parenchym, dessen isodiametrische Zellen von je dreien derselben eingefasste Intercellularräume bilden.

Die innersten drei bis fünf Zellschichten sind wieder lückenlos miteinander verbunden; und dadurch denen des Hypoderma sehr ähnlich da sie aber im übrigen alle microchemischen und physikalischen Eigenschaften des inneren Rindenparenchyms zeigen, müssen sie als gleichwerthig mit diesem betrachtet werden.

Der lückenlose Verband dieser Zellschichten scheint jedoch für den Austausch des Saftes bedeutungsvoll zu sein.

Da die Membranen der fraglichen Schichten im späteren Alter der Wurzel zugleich mit denen der Endodermis sklerotisiren, und zwar unter Bildung von Tüpfeln, welche mit denen der Endodermiszellen communiciren, so ist mittelst des lückenlosen Verbandes die Bildung von Tüpfelkanälen an jeder Stelle der Endodermis ermöglicht, während beim Vorhandensein von Intercellularräumen eine Berührung der Tüpfel nur an den aneinandergrenzenden Flächen denkbar wäre; mit Hilfe der bestehenden Einrichtung werden dem Saftaustausche daher zahlreiche Wege zur Verfügung gestellt.

Die Verholzung (durch Xylophilinreaction erwiesen) tritt bei der Endodermis gleichzeitig an allen Vertikalwänden auf; die Rindenzellen verdicken in centrifugaler Richtung, also so, dass zuerst die innerste Tangentialwand, später die radialen Wände, und so fort die nächstäusseren Zellen in derselben Weise verholzen, so dass schliesslich die äusserste sklerotisirte Schicht durch Verdickung ihrer inneren Tangentialwände und ihrer radialen Wände hufeisenförmige Zellen bekommt.

Das einschichtige Pericambium zeigt nichts bemerkenswerthes.

Hinsichtlich des Gefässbündelcylinders ist das von den Monocotyledonen im allgemeinen gesagte zu wiederholen.

Irideae: Iris germanica.

Die Epidermis einer saugenden Wurzelstelle besteht aus eigenthümlich papillös ausgestülpten Zellen, und ist meist reichlich mit Haaren versehen.

Unter ihr findet sich ein meist dreischichtiges Hypoderma, welches mit allen charakteristischen Eigenschaften dieser Gewebeart begabt ist, und besonders durch die Grösse der Lumina seiner Zellen auffällt. Im späteren Alter verändern sich seine Membranen, ohne jedoch zu verdicken. Sie werden dann bei der Behandlung mit Phloroglucin und Salzsäure röthlich, mit Thallin gelblich, mit Chlorzinkjodlösung braun, mit Kali gelb, scheinen demnach in diesen Stadien aus einem Mittelding zwischen Holz- und Korksubstanz zu bestehen.

Die hypodermalen Zellschichten dienen dann mittelst ihrer festen Wände zum Schutz gegen äussere, mechanische Einflüsse, und mittelst ihres saftreichen Inhaltes zum Schutz gegen Austrocknen.

Bei der Behandlung mit plasmolytischer Flüssigkeit (Glycerin) bemerkte ich an Längsschnitten durch jugendliche Wurzelstellen regelmässig eine geringe aber deutliche Faltung oder Wellung der Radialwände der hypodermalen Zellen, und nehme ich keinen Anstand, diese Fähigkeit der besprochenen Wände, sich bei Abgabe von Flüssigkeit wellig zu verbiegen, als eine Einrichtung anzusprechen, welche dazu dient, in den betreffenden Zellen eine Speicherung des Saftes zu ermöglichen.

Das übrige Rindengewebe ist circa vierzehnschichtig, seine Zellen sind auf dem Querschnitt isodiametrisch, von variabler Grösse, und bilden Intercellularräume, welche von drei, auch vier Elementen begrenzt sind. Die untersuchten waren nicht sehr inhaltsreich, zeigten aber deutlicher, als die des Hypoderma, Plasma und Kern.

Die Endodermis erscheint auf dem Querschnitt aus U-förmigen Zellen bestehend; sie verdickt ihre Wände in einem gewissen Stadium des Wachsthums. Die Verdickungen treten bei verschiedenen Wurzeln derselben Pflanze in verschiedener Höhe auf und zwar ziemlich gleichmässig in der ganzen Endodermis mit Ausnahme der den Gefässstrahlen gegenüberliegenden Durchgangsstellen, ohne Bildung von Tüpfeln.

Durchgangsstellen finden sich in der ganzen Wurzel zwar fast auf jedem Schnitt, aber doch immer nur vereinzelt und keineswegs vor jedem Gefässstrahle. In den oberen Regionen mancher feinen Wurzeln bemerkte ich keine Durchgangsstellen mehr. Da nun Tüpfelung nicht vorhanden ist, so wird durch den vollkommenen Verschluss des Endodermisringes eine Wasserzufuhr von innen nach aussen zur Unmöglichkeit, und das gesammte Rindengewebe stirbt ab[1]).

---

[1]) Die radialen Wände der Endodermis sind länger als die tangentialen; von diesen ist in der Regel die äussere die längere. Es folgen auf dem Querschnitt ge-

Das einschichtige Pericambium zeigt an den Stellen, welche den Durchgangsstellen der Endodermis benachbart sind, oft bedeutend grössere Zellen, als die übrigen. Diese Erscheinung ist hinsichtlich des Saftausgleiches ganz erklärlich; denn der gesammte Saftstrom wird durch diese Zellen geleitet, sie müssen daher ihres vereinzelten Vorkommens wegen geeignet sein, gelegentlich auch grössere Mengen von Wasser behufs allmähligen Ausgleichs des hydrostatischen Druckes eine Zeit hindurch zu beherbergen.

Im Bau des Gefässbündelcylinders sind besondere, den radialen Saftstrom beeinflussende Einrichtungen nicht anzutreffen.

Dioscoreae: Dioscorea bonariensis.

Bei dieser Wurzel ist das Vorhandensein eines wohl ausgebildeten Hypodermas wichtig, welches aus einer einzigen Zelllage besteht, deren Elemente die typischen Eigenthümlichkeiten dieser Gewebeart in deutlicher Weise zeigen.

Im übrigen ist nur noch das Verhalten eines Querschnitts durch eine saugende Wurzelstelle gegen concentrirte Schwefelsäure bemerkenswerth, da von dieser nur die zartwandigen inneren Organe gelöst werden, während die Membranen der jungen Haare, der Epidermis, des Hypoderma und der Endodermis vollkommen erhalten bleiben. Am resistentesten verhalten sich dabei die Haare, während die Wände der übrigen genannten Organe etwas gewellte Form erhalten.

Die aus diesen Erscheinungen zu ziehenden Folgerungen finden sich bereits im allgemeinen Theil dieser Arbeit unter dem über die chemische Beschaffenheit der Zellmembranen gesagten, erwähnt.

Pontederiaceae: Pontederia crassipes und *Pontederia cordata.*

Bei diesen beiden *Pontederiaceen* ist zunächst der Umstand sehr auffallend, dass der Bau der sehr dünnen, haarähnlichen Abzweigungen der stärkeren Adventivwurzeln von dem der letzteren erheblich abweicht. Die ersteren zeigen eine Epidermis, welche aus langen und breiten Zellen besteht (Fig. 6), deren radialer Durchmesser so gering ist, dass die äusseren und inneren Wände der Epidermis fast aufeinander zu liegen scheinen, und erst bei mehr als 150facher Vergrösserung deutlich unterschieden werden können.

Auf die Epidermis folgt ein Ring keilförmiger Zellen, deren Radialdurch-

---

wöhnlich auf einige dieser Zellen einige solche, deren innere Tangentialwand länger ist als die äussere; hierdurch wird die Verbindung des Ringes, welche durch lauter Zellen der ersten Art schliesslich unterbrochen werden würde, wiederhergestellt. Auch wird zu diesem Zwecke mitunter eine kleine Zelle keilförmig hineingeschoben.

Die Caspary'schen Punkte an den unverdickten Zellen erscheinen meist nicht genau in der Mitte, sondern mehr nach dem inneren Ende der radialen Wände gelegen. Starke Vergrösserungen lassen auch hier deutlich ihr Entstehung aus der Wellung der Wände in Folge Nachlassens der Spannung des umgebenden Gewebes erkennen; eine Verdickung, wie sie von Wisselingh an der correspondirenden Stelle bei *Iris Güldenstädtiana* bemerkt hat, ist hier nicht vorhanden.

messer mehr als das Zwanzigfache der ersteren beträgt. Sie besitzen geringen plastischen Inhalt, und zeigen auch die übrigen hypodermalen Eigenschaften in so ausgeprägtem Masse, dass sie als das Hypoderma der Wurzel bezeichnet werden müssen. Ihre Lumina sind so beträchtlich, dass das innere Gewebe neben ihnen einen fast verschwindenden Eindruck macht, sie scheinen die wichtigsten Organe der feinen Wurzelfäden, und fast ausschliesslich zum Aufspeichern des Saftes bestimmt zu sein.

Das von diesem Ringe grosslumiger Zellen umschlossene Gewebe ist wegen des geringen Querdurchmessers seiner Elemente schwer zu analysiren. Es besteht aus mehreren Schichten inhaltsreicher Zellen; das Centrum der Wachsthumsaxe wird von einem einzigen Spiralgefäss gebildet.

Die stärkeren Wurzeln zeigen die schon mehrfach erwähnte Struktur der Wasserwurzeln. Sie besitzen ein dreischichtiges Hypoderma und unter diesen das zerklüftete Grundgewebe der Rinde, dessen innerste drei Zelllagen auch hier vollkommen unversehrt erhalten bleiben.

Die Endodermis verdickt an einigen Stellen des Ringes ihre Wände, das von ihr umschlossene Gewebe zeigt nichts bemerkenswerthes.

Wir sehen hier wieder, dass die feinsten Wurzelverzweigungen wesentlich anderen Zwecken dienen, als die stärkeren, und dass die Pflanze hier, um diesen Zweck, nämlich den der Aufnahme und besonders der Aufspeicherung des Wassers, zu erreichen, ganz eigenthümliche Vorrichtungen trifft, welche hier in einer höchst auffallend starken Ausbildung des Wassergewebes bestehen, gegen welches alle übrigen Organe fast verschwinden.

Bromeliaceae: Bromelia longifolia (Fig. 4).

Unter der mit Haaren reich besetzten Epidermis findet sich hier ein 2—5 schichtiges Hypoderma, dessen Zellen ziemlich regelmässig und isodiametrisch gebaut, lückenlos miteinander verbunden und mit einem spärlichen Primordialschlauch ausgerüstet sind. Auf dieses Gewebe folgen vier Schichten kleinzelligen Suberoïds, dessen Wände verholzt und ebenfalls ohne Intercellularräume miteinander verbunden sind.

Dieser Ring tritt schon an ganz jugendlichen saugenden Wurzelstellen auf, und bildet für den centripetalen Saftstrom keineswegs ein Hinderniss, da er bisweilen von grosslumigen Zellen durchbrochen wird, mittelst welcher das Hypoderma und das Grundgewebe der Rinde in Verbindung stehen, welche daher als Durchgangszellen zu betrachten sind.

Erst im späteren Alter der Wurzel schliesst sich der Ring vollkommen, eine Ernährung des ausserhalb desselben befindlichen Gewebes kann nicht mehr stattfinden, und dieses stirbt schliesslich ab.

Die Endodermis verdickt ihre Wände unter Freilassung von Durchgangsstellen schon sehr zeitig, Tüpfel konnte ich an den Verdickungen nicht bemerken, dagegen reichlichen plastischen Inhalt noch in weit vorgeschrittenem Stadium der Verdickung, welcher Umstand darauf schliessen lässt, dass die verdickten Membranen noch lange Zeit permeabel sein müssen.

Enantioblastae.

Commelinaceae: Tradescantia virginica.

Hier fällt zunächst ein dreischichtiges Hypoderma auf, welches aus radial gestreckten, ziemlich grossen Zellen besteht, und auch die übrigen characteristischen, schon mehrfach erwähnten Eigenschaften dieser Gewebeart zeigt. In höheren Regionen der Wurzel war in den untersuchten Schnitten das gesammte innere Rindengewebe mit Stärke erfüllt, während das Hypoderma zum Theil davon freigeblieben war, und in Folge dieses Umstandes besonders scharf hervortrat.

Die übrigen Organe der Wurzel, einschliesslich der dünnwandig bleibenden Endodermis zeigen nichts bezüglich des radialen Saftstromes bemerkenswerthes.

Das Verhalten eines Querschnittes durch eine jugendliche Wurzelstelle gleicht dem gelegentlich der Beschreibung von *Dioscorea* erwähnten.

Spadiciflorae.

Araceae: Philodendron Schott.

Hinsichtlich der Einrichtungen, welche für den radialen Saftstrom bestimmt sind, ist bei dieser Wurzel das bei *Tradescantia* gesagte in allen Punkten zu wiederholen, nur mit dem Unterschiede, dass das Hypoderma hier aus einer einzigen Zelllage besteht.

Auch die Resistenz der Membranen der Haare, der Epidermis, des Hypoderma und der Endodermis gleicht der bei *Dioscorea* erwähnten.

Orontieae: Calla palustris.

Der typische Bau der Wurzeln der Wasserpflanzen trifft auch bei *Calla* zu. Das Hypoderma ist zweischichtig, seine äusserste Schicht ist auch dazu bestimmt, die frühzeitig collabirende Epidermis zu vertreten.

Die Endodermis verdickt ihre Wände im späteren Alter ein wenig ohne Tüpfelung, jedoch unter Freilassung von Durchgangsstellen.

Pandaneae: Pandanus Veitchii.

An der jungen Saugwurzel konnte ich weder Wurzelhaare noch eine besondere Wasserschicht entdecken.

In dem vielschichtigen Grundgewebe der Rinde liegen zahlreiche Bündel mechanischer Elemente, welche jedoch auf keinem Querschnitt eine Trennung des inneren und äusseren Gewebes und eine dadurch bedingte Unterbrechung des radialen Saftstromes bewirken. — Die Endodermis bleibt dünnwandig.

Hinsichtlich des Gefässbündelcylinders ist zu bemerken, dass der Verkehr zwischen Holz- und Siebtheil hier in vielen Fällen durch mechanische Elemente, welche sich zwischen diesen Gewebearten häufig bilden, unterbrochen werden würde, wenn sich nicht auf jedem Querschnitt dünnwandig gebliebene Elemente fänden, welche eine Communikation des Saftes ermöglichen.

Typhaceae: Sparganium simplex.

Auch für die Wurzel dieser Pflanze gilt das für die Wasserwurzeln gesagte, doch finden sich hier einige besondere Eigenthümlichkeiten.

Das Hypoderma besteht aus einer einzigen Schicht auffallend grosser Zellen. Unter ihm liegt ein zweischichtiges Suberoïd-Gewebe, dessen Zellen erst im späteren Alter der Wurzel, und zwar an sämmtlichen Wänden verdicken.

In diesem Stadium zeigen auch die innersten drei Zellreihen des Rindengewebes eine mässige Verdickung sämmtlicher Wände, ebenso wie die Endodermis, welche unter Bildung von Tüpfeln verholzt.

Palmae: Phoenix dactylifera.

Hier ist zunächst ein vierschichtiges Hypoderma zu erwähnen, dessen Zellen schon in sehr früher Jugend auffallend die Xylophilinreaction ergaben.

Unter ihm findet sich ein drei- bis fünfreihiges Suberoïd, welches schon dicht über dem Vegetationspunkte angelegt wird, und später schwache Tüpfelung zeigt, durch welche Einrichtung der Saftaustausch zwischen innerem und äusserem Gewebe auch in den ältesten Stadien der Wurzel ermöglicht wird.

Das Parenchym des Grundgewebes der Rinde ist durch grosse Luftlücken unterbrochen, welche viele radiale Streifen unversehrter Zellen übrig lassen, durch welche der Gefässbündelcylinder mit dem Gewebe der Rinde communicirt.

In diesen Streifen liegen zahlreiche, aus je 8 bis 40 mechanischen Elementen bestehende Bündel, welche so angeordnet sind, dass keiner der Streifen eine vollkommene Unterbrechung erleidet, sondern stets noch einige unveränderte Zellen für die Wasserleitung übrig bleiben.

Die Endodermis verdickt ihre Wände schon in ziemlich frühen Stadien U-förmig, ohne Freilassung von Durchgangsstellen, jedoch unter Bildung von reichlicher Tüpfelung, so, dass also auch durch die Verdickungen dem Saftaustausch ein Hinderniss nicht erwächst, und dieser in allen Fällen gesichert ist.

Glumiflorae.

Scirpeae: Scirpus lacustris.

Das Hypoderma dieser Wurzel ist zweischichtig, seine Wandungen verholzen im späteren Alter und bilden alsdann im Verein mit der collabirten Epidermis und den abgestorbenen Haaren einen mechanischen Schutzring um den axilen Cylinder.

Der Bau des Grundparenchyms der Rinde gleicht dem der Wasserpflanzen im allgemeinen.

Die Endodermis wird im späteren Alter dickwandig; Durchgangsstellen bleiben nur bis zu einem gewissen Stadium offen, mit dem Verschluss derselben ist das Absterben des gesammten Rindengewebes in Folge der Unterbrechung des centrifugalen Saftstromes eingeleitet.

Das einschichtige Pericambium wird hier von den primären Gefässen durchbrochen, sodass diese direct an die Endodermis grenzen.

Caricineae: Carex hirta.

Hier findet sich unter dem ein- bis dreischichtigen Hypoderma wieder ein circa achtschichtiges Suberoïd, in dessen Verbande Unterbrechungen

durch dünnwandige Elemente nicht aufzufinden sind, dessen schon in früher Jugend verdickte Membranen mithin permeabel sein müssen, um den Austausch des Saftes nicht zu verhindern.

Das übrige Rindengewebe ist kleinzellig, die Elemente der Endodermis zeigen bei dieser Wurzel auf dem Querschnitt radiale Streckung, sind ziemlich grosslumig und bleiben unverdickt.

Gramineae: Zea Mays und *Panicum miliaceum.*

Ein bisweilen zweischichtiges, gewöhnlich aber einschichtiges, sehr characteristisch ausgebildetes Hypoderma, unter diesem ein aus drei bis fünf Zelllagen bestehendes Suberoïd (Fig. 1), in welchem ich bei *Panicum* dünnwandige Zellen als Durchgangsstellen ganz vereinzelt bemerkte, streng radiale Anordnung des übrigen Rindengewebes, sowie Verdickung der Endodermiswände unter Bildung von Tüpfeln, aber ohne Freilassung von Durchgangsstellen, sind die für diese Wurzeln bedeutungsvollen Einrichtungen, welche den radialen Saftstrom characterisiren.

Zu erwähnen ist noch der Umstand, dass auch die horizontalen Wände der Endodermis im Stadium der Verdickung nicht getüpfelt sind.

Bezüglich ihres chemischen Verhaltens liessen sich im Rindengewebe dieser Wurzel drei Gruppen von Elementen unterscheiden. Zur ersten gehören die Epidermis mit den Haaren, das Hypoderma und die Endodermis, die zweite wird von dem Suberoïd, die dritte von dem Grundparenchym der Rinde gebildet.

Phragmites vulgaris (Fig. 5).

Hier ist in hohem Grade bemerkenswerth, dass die Aufnahme des Saftes nur durch die sehr feinen Nebenwurzeln erfolgen kann, während in den stärkeren Wurzeln ein Saftstrom nur in centrifugaler Richtung möglich ist.

Letztere zeigen nämlich schon dicht über der Wurzelspitze ein Festigungsgewebe, welches der Aufnahme und radialen Weiterführung von Flüssigkeit unüberwindliche Hindernisse in den Weg stellt. Schon 5 mm über dem Vegetationspunkt verholzen hier die Wände der ersten drei subepidermalen Zellschichten, und zwar tritt die Sklerose am stärksten an den tangentialen Wänden derselben auf, weder Durchgangsstellen freilassend: noch Tüpfel bildend, sodass also eine Wasseraufnahme von aussen nicht mehr stattfinden kann. Diesem Momente entsprechend findet sich auch ein eigentliches Wassergewebe nicht vor. Der übrige Bau des Rindengewebes ist der für die Wasserwurzeln typische.

Die Endodermis verholzt an ihren Membranen hufeisenförmig ohne Freilassung von Durchgangsstellen, jedoch unter reicher Tüpfelbildung.

Die Nebenwurzeln zeigen einen wesentlich anderen Bau. Hier sind mit Ausnahme sehr weniger centraler spiraliger Gefässe alle Elemente dünnwandig.

Unter der mit Haaren reich besetzten Epidermis liegt ein dreischichtiges, sehr grosszelliges Hypoderma, auf welches einige Lagen engzelligen Gewebes folgen, dessen Wachsthumscentrum von den wenigen Spiralgefässen gebildet wird.

Die Anatomie der feinen Nebenwürzelchen macht den Eindruck, als hätten diese vorzugsweise die Bestimmung der Aufnahme und Speicherung des Saftes zu erfüllen.

Scitamineae.

Musaceae: Musa Ensete.

Im Rindengewebe von *Musa* habe ich besondere, den radialen Saftstrom beeinflussende Einrichtungen nicht angetroffen. Was den Bau des axilen Cylinders betrifft, so verweise ich auf die oben citirte Arbeit von Reinhardt, in welcher er als eine Anomalie der Musaceen-Wurzeln die starke Ausbildung von mechanischem Gewebe im Innern des Cylinders, sowie zwischen Xylem und Phloëm, die dadurch bewirkte Trennung der beiden Gewebsarten, sowie die Wiederherstellung ihres Saftaustausches durch dünnwandig gebliebene Elemente beschreibt.

Cannaceae: Canna indica.

Hier ist ein fünfschichtiges Hypoderma vorhanden, dessen Radialwände bei der Behandlung mit plasmolytischer Flüssigkeit deutliche Wellung annehmen.

Die Anatomie der übrigen Organe der Wurzel lässt besondere, den radialen Saftstrom beeinflussende Einrichtungen nicht erkennen.

Das chemische Verhalten der Membranen gleicht dem im allgemeinen Theil dieser Arbeit öfters erwähnten.

Marantaceae: Maranta arundinacea Var. indica.

Ein zwei- bis fünfschichtiges, hier aus etwas tangential gestreckten Zellen bestehendes Hypoderma ist auch bei dieser Wurzel vorhanden.

Unter ihm befindet sich ein mehrere Lagen starkes Suberoïd, welches an vielen Stellen von dünnwandigen grösseren Zellen durchbrochen wird, wodurch der Saftverkehr zwischen innerem und äusserem Rindengewebe ermöglicht wird (Fig. 7).

Ob die Endodermis im späteren Alter verdickt, konnte an den zur Verfügung stehenden, ausschliesslich jugendlichen Wurzeln nicht ermittelt werden.

Gynandrae.

Orchideae: Epipactis palustris.

Da bei den *Orchideen* auch die Luftwurzeln als wasseraufnehmende Organe functioniren, so ist auch bei diesen nach hierzu dienenden besonderen Einrichtungen und Organen zu suchen. Die wasserspeichernde Fähigkeit der sogenannten „äusseren Endodermis“ ist bekannt, die übrigen Organe zeigen nichts für unsere Frage bemerkenswerthes, und ich kann mich hier mit dem Hinweise auf das im allgemeinen Theil dieser Arbeit über die Luftwurzeln der Orchideen gesagte begnügen.

Die haarlose, aber mit Mycorrhizen reich versehene Wurzel von *Epipactis palustris* zeigt im späteren Alter eine ziemlich starke Verdickung der äusseren Epidermiswände.

Ein einschichtiges, aus nicht genau alternirend langen und kurzen Zellen bestehendes Hypoderma schliesst sich der Epidermis lückenlos an. (Fig. 2.) Die radialen Wände der langen Zellen zeigen geringe Wellung. Die Endodermis verdickt ihre Wände U-förmig, ohne Tüpfelbildung aber unter Freilassung von Durchgangsstellen.

Hinsichtlich der Anordnung der Gefässe ist bemerkenswerth, dass die Enden jedes Strahles sich den Durchgangsstellen der Endodermis gegenüber plattenförmig nach beiden Seiten ausbreiten, um dem Saftstrome eine möglichst grosse Vermittelungsfläche darzubieten.

Helobiae.

Alismaceae: Alisma Plantago.

Bei dieser Pflanze scheint die Aufnahme des Saftes ähnlich wie bei *Phragmitis* nur durch die feinen Nebenwurzeln zu erfolgen, da die stärkeren schon in früher Jugend an den äusseren Tangentialwänden der subepidermalen Schicht verkorken.

Ein wassersammelndes Hypoderma ist auch hier nicht vorhanden.

Das Grundgewebe der Rinde zeigt den für die Wasserwurzeln typischen Bau. Die Endodermis verholzt unter Freilassung weniger Durchgangsstellen an ihren vertikalen Wänden. In die Sklerose werden bisweilen die Zellen des Pericambiums und der innersten Rindenparenchymschicht hineingezogen. Den Durchgangsstellen entsprechend bleiben jedoch auf jedem Querschnitt einige unverdickte Elemente frei, durch welche der Saftstrom ungehindert vorsichgehen kann.

Das Rindengewebe der zarten Nebenwurzeln besteht aus wenigen, sehr grossen, keilförmigen, auffallend turgescent aussehenden Zellen. Die Verdickungen der Endodermis sind hier seltener.

Sagittaria sagittaefolia.

Ein zweischichtiges Hypoderma besitzen auch die starken Wurzeln dieser Pflanze. Das charakterische der Rinde sind jedoch ihre bekannten armartig verbundenen Grundgewebszellen, welche in Sachs' Lehrbuch der Botanik (1874) auf Seite 75 abgebildet sind.

Der Bau der innersten drei Rindenzellschichten weicht von dem dieser Armzellen wieder ab, und gleicht dem gewöhnlicher Parenchymzellen.

Die Endodermis verdickt ihre Wände ein wenig unter Bildung von Durchgangsstellen.

Die sehr zarten Nebenwurzeln zeigen einen von dem beschriebenen wesentlich verschiedenen Bau.

Hier finden sich im Rindengewebe keine anormal gebildeten, sondern nur isodiametrische bis tangential gestreckte Zellen vor, die in radialer Anordnung stehen.

Wie schon öfters erwähnt, glaube ich den feinen Nebenwürzelchen ganz besonders die Bestimmung der Wasseraufnahme zusprechen zu müssen. Da nun den Nebenwürzelchen der *Sagittaria* die charakteristischen Elemente des

Rindengewebes der stärkeren Wurzeln fehlen, so glaube ich zu der Annahme berechtigt zu sein, dass diese Armzellen für die Leitung des Saftes nur negative Bedeutung haben. Aber auch einen besonders reichen plastischen Inhalt konnte ich in den fraglichen Zellen nicht ermitteln, und es bleibt somit nur noch die Annahme übrig, dass mittelst des armartigen Verbandes eine besonders grosse Festigung des Gewebes erzielt werden soll, um dem bei den Wurzeln der Wasserpflanzen so leicht eintretenden Zerreissen des Rindenparemchyms vorzubeugen.

Butomus umbellatus.

Die Wurzel von *Butomus umbellatus* zeigt weder Haare noch Hypo derma, und besitzt im Uebrigen den Bau der Wasserpflanzenwurzeln.

Endodermis und Pericambium verholzen unter Bildung gemeinsamer Durchgangsstellen und Tüpfeln, welche miteinander communiciren.

Hydrocharideae: Hydrocharis morsus ranae.

Auch die Wurzeln dieser Pflanze sind nach dem bekannten Typus der in Wasser, Moor und Sumpf lebenden Monocotyledonen gebaut; verdickte Organe habe ich hier ausser den Gefässen nicht aufgefunden, ebensowenig wie sonstige den radialen Saftstrom beeinflussende Einrichtungen.

Dicotyledonen.

Während bei den Wurzeln der *Monocotyledonen* bezüglich unserer Frage eine Fülle von Erscheinungen herrscht, welche fast bei jeder Wurzel ein Eingehen auf ihre Anatomie gestatten, ist bei denen der *Dicotyledonen* im wesentlichen das für die Coniferenwurzeln geltende zu wiederholen. Auch hier kann nur in derjenigen Zeitperiode, in welcher das secundäre Dickenwachsthum der Wurzel noch nicht begonnen hat, von einem centripetalen Saftstrome die Rede sein; wir brauchen nicht mit den mannigfachen Vorrichtungen zu rechnen, welche die Wurzeln der *Monocotyledonen,* bei denen ja das gesammte Rindengewebe meist erhalten bleibt, schon frühzeitig treffen, um dieses für seinen zukünftigen Beruf vorzubereiten, um ihm zugleich Festigkeit und Permeabilität zu verleihen, und es so in den Stand setzen, als Speichergewebe für feste und flüssige Materie zu funktioniren.

Seltener als bei den bisher besprochenen Wurzeln wird daher bei denen der *Dicotyledonen* von mehr als einer einfachen Diosmose die Rede sein können; die einzelnen Verschiedenheiten sollen von Fall zu Fall besprochen werden.

Amentaceae.

Bei den Wurzeln der *Amentaceen* fällt zunächst der Umstand auf, dass, ähnlich wie bei den Gefässcryptogamen und Coniferen, ihre Epidermis und bisweilen auch einige Schichten des Rindengewebes gelblichen bis braunen Inhalt, sowie ebensolche Färbung ihrer Membranen zeigen, welche von Gerbstoffen oder gerbstoffartigen Körpern und Phlobaphenen herrührt.

Was die Anatomie der Rinden betrifft, so konnte ich an saugenden Wurzelstellen von *Populus nigra, Juglans regia* und *Corylus Avellana*

eine Differenzirung des Gewebes in verschiedenartige Elemente nicht bemerken. Das gesammte Parenchym besteht vielmehr aus gleichwerthigen lückenlos verbundenen Zellen, welche sehr turgescent aussehen, und deren Wände sich sämmtlich gegen die verschiedenen Reagentien wie die des Hypoderma anderer Wurzeln verhalten. Auch gegen concentrirte Schwefelsäure erweisen sie sich resistent, und ich nehme keinen Anstand aus der Summe dieser Erscheinungen den Schluss zu ziehen, dass wir es hier mit einem Rindengewebe zu thun haben, welches in seiner Gesammtheit als Hypoderma funktionirt.

Etwas anders gestalten sich die Verhältnisse bei *Fagus silvatica*.

Hier fällt am Querschnitt durch eine saugende Wurzelstelle sofort die hypodermale Zellschicht durch ihr vom übrigen Gewebe durchaus verschiedenartiges Aussehen auf. Sie zeigt alle Eigenschaften eines wassersammelnden Hypodermas, und muss als solches betrachtet werden.

Die Zellen des Grundgewebes sind rundlich und bilden bisweilen recht beträchtliche Intercellularräume.

Bei allen genannten *Amentaceen*wurzeln zeigen die übrigen Organe hinsichtlich des radialen Saftstromes nichts bemerkenswerthes.

Urticineae.

Cannabineae: Humulus japonicus.

Im Grundgewebe der Wurzelrinde finden sich einzelne Bündel mechanischer Elemente, jedoch nicht in solcher Menge, dass die Leitung der aufgenommenen Nahrung nach den Organen des axilen Cylinders durch die Anwesenheit der Bündel unterbrochen würde. Ein Wassergewebe ist nicht vorhanden, und auch der übrige Bau der Wurzel zeigt nichts auf das Thema bezügliches.

Centrospermeae.

Chenopodiaceae: Beta vulgaris.

Das massenartig ausgebildete Parenchym der Rübe besteht aus Zellen verschiedenartigen Inhaltes. Viele enthalten Farbstoff in Lösung und sind mit Plasma, in welchem der Zellkern deutlich sichtbar ist, reichlich versehen; in anderen tritt das Plasma in Form eines dünnen Wandbelages zurück. Diese Zellen enthalten dann scheinbar weiter nichts als farblose, selten gefärbte Flüssigkeit; ihre wasserspeichernde Bestimmung ist augenfällig und unterliegt keinem Zweifel; in de Bary's vergleichender Anatomie der Gewächse sind ihr, wie schon oben erwähnt, auf S. 123 einige Bemerkungen gewidmet.

Da die Pflanze in der starken Hauptwurzel ein ergiebiges Wasserreservoir besitzt, so war zu vermuthen, dass die feinen Nebenwurzeln eines solchen entbehren dürften, welche Annahme sich bei der Untersuchung vollkommen bestätigte, da auch der subepidermalen Schicht alle Kennzeichen eines Hypoderma's fehlen.

Caryophyllaceae: Dianthus barbatus.

Sehr geringer Querdurchmesser der Epidermiszellen, dagegen auffallende Grösse der Elemente der subepidermalen Schicht sind die Kennzeichen der jugendlichen Saugwurzeln dieser Pflanze. Die letzterwähnten Zellen sind von keilförmiger Gestalt und zeigen im übrigen weder in der Art ihres Verbandes, noch in ihrem chemischen Verhalten irgend welche für das Hypoderma-Gewebe charakteristischen Eigenschaften. Sie machen jedoch den Eindruck einer grossen Turgescenz, und da sie auch arm an plastischen Substanzen sind, so glaube ich ihnen vorzugsweise wasserspeichernde Eigenschaften zuschreiben zu dürfen, worauf auch ihre abnorme Grösse hindeutet.

Polycarpicae.

Helleboreae: Helleborus viridis.

Da das gesammte Rindenparenchym dieser Wurzel bis in ihr hohes Alter erhalten bleibt, so liegt von vornherein die Wahrscheinlichkeit nahe, dass sich auch den radialen Saftstrom beeinflussende Einrichtungen finden werden. Solche sind thatsächlich bei der Endodermis anzutreffen, welche im späteren Alter unter Bildung von Durchgangsstellen dickwandig wird.

Das Gewebe der Rinde zeigt ebensowenig wie das der inneren Organe etwas bemerkenswerthes.

Paeonicae: Paeonia officinalis.

Hinsichtlich unserer Frage sind bei dieser Wurzel besondere Einrichtungen nicht anzutreffen.

Cistiflorae.

Resedaceae: Reseda lutea.

Bei dieser Wurzel ist zwar schon in frühen Stadien eine Differenzirung des Gewebes der Rinde bemerkbar dasselbe bietet jedoch nur rein anatomisches Interesse; bezüglich des Saftstromes sind besondere Einrichtungen nicht vorhanden.

Violaceae: Viola tricolor.

Das gesammte Rindengewebe ist hier zwar lückenlos verbunden, verhält sich jedoch gegen conc. Schwefelsäure nicht resistent, und zeigt auch keine der übrigen Eigenschaften eines hypodermalen Wassergewebes.

Ternstroemiaceae: Camellia japonica.

Auch bei dieser Wurzel zeigt das Gewebe der Rinde einen lückenlosen Verband, die subepidermale Schicht unterscheidet sich aber ausserdem noch sehr wesentlich von ihren Nachbarinnen durch die Rothfärbung ihrer Wände bei der Behandlung mit Phloroglucin und Salzsäure, wodurch eine Verschiedenheit ihrer Funktion erwiesen zu sein scheint. Gegen conc. Schwefelsäure verhält sich der Schnitt wie der von *Dioscorea*, wobei in den untersuchten Fällen eine blutrothe Färbung auftrat.

Columniferae.

Malvaceae: Malva Alcea.

Am Querschnitt einer jugendlichen Wurzelstelle ist ein wohl ausgebildetes Hypoderma bemerkbar, welches aus einer einzigen Zellschicht besteht und alle charakteristischen Eigenschaften zeigt. Andere auf das Thema bezügliche Einrichtungen sind nicht anzutreffen.

Gruinales.

Geraniaceae: Pelargonium roseum.

Hier zeigt das gesammte Rindenparenchym lückenlosen Verband, sowie vollkommene Resistenz gegen conc. Schwefelsäure, und scheint daher als Hypoderma zu funktioniren.

Terebinthineae.

Rutaceae: Diosma rubra.

Obgleich auch bei dieser Wurzel das gesammte Parenchym der Rinde lückenlos verbunden ist, differenzirt sich die subepidermale Schicht doch sehr deutlich durch die radiale Streckung und Grösse ihrer Zellen. Auch sind ihre Membranen im Gegensatze zu denen des übrigen Gewebes resistent gegen Schwefelsäure, und geben auch andere Färbungsreactionen. Ihr Inhalt ist wässrig, ihre Radialwände zeigen bei der Behandlung mit plasmolytischer Flüssigkeit geringe Wellung, die Aussenwände erleiden im späteren Alter erhebliche Verdickung.

Aus der Summe dieser Erscheinungen schliesse ich, dass das fragliche Gewebe als echtes wassersammelndes Hypoderma zu betrachten sei.

Aesculineae.

Sapindaceae: Aesculus indica und *Aesculus Hippocastanum.*

In den normalen Verzweigungen dieser Wurzeln wurden auf den radialen Saftstrom bezügliche Einrichtungen nicht angetroffen, dagegen sind gewisse knöllchenartige Gebilde sehr bemerkenswerth, welche bei sehr vielen *Aesculineen*-Wurzeln angetroffen werden. Dieselben sind von Waage[1]) als wasserspeichernde Organe erkannt und mit dem Namen „Kurzwurzeln" belegt worden.

Acer polymorphum.

Ausser einem zweischichtigen, wohl ausgebildeten Hypoderma sind besondere Einrichtungen hinsichtlich unserer Frage nicht anzutreffen.

Umbelliflorae.

Corneae: Cornus sanguinea.

Ein aus einer einzigen Zellreihe bestehendes Hypoderma kennzeichnete sich bei dieser Wurzel ausser durch seine Grösse ganz besonders deutlich

[1]) Waage, über haubenlose Wurzeln der Hippocastanaceen und Sapindaceen. Ber. d. Deutsch. Bot. Ges. 1891.

durch den Umstand, dass seine Zellen jeglichen plastischen Inhaltes baar zu sein schienen, während die des übrigen Rindengewebes in den untersuchten Fällen mit Stärke erfüllt waren.

Die übrigen Organe der Wurzel zeigen nichts bemerkenswerthes.

Saxifragineae.

Crassulaceae: Sempervivum tectorum.

Hier tritt der seltene Fall ein, dass die Epidermis mit der unter ihr befindlichen Zellschicht unter Bildung von Intercellularräumen verbunden ist. Von einem Hypoderma kann also schon aus dem Grunde keine Rede sein, weil das wichtige Kennzeichen des lückenlosen Verbandes fehlt. Diese Anordnung der Epidermiszellen und die dadurch bedingte geringe Berührungsfläche mit der hypodermalen Schicht geben zu dem Gedanken Veranlassung, dass bei den fleischigen Gewächsen, welche ein wasserspeicherndes Gewebe in dem weitzelligen Parenchym ihrer oberirdischen Organe besitzen, eine verhältnissmässig nur geringe Zuleitung von flüssiger Nahrung nothwendig ist, was mit dem normalen Bau der genannten Gewebe zusammenhängen dürfte.

Mytiflorae.

Onagraceae: Fuchsia.

Die subepidermale Schicht besitzt hier alle Kennzeichen eines echten Hypoderma, und kann daher als solches angesprochen werden, obgleich das innere Rindengewebe ebenfalls lückenlos verbunden ist. Von diesem unterscheidet es sich jedoch sehr wesentlich durch seine Resistenz gegen concentrirte Schwefelsäure, sowie durch die radiale Streckung seiner Zellen.

Rosiflorae.

Pomaceae: Sorbus aucuparia. Roseae: Rosa canina. Poterieae: Sanguisorba offic.

Es gelang mir nicht, an den Wurzeln der genannten Pflanzen besondere, für den radialen Saftstrom bestimmte Einrichtungen anzutreffen.

Leguminosae.

Papilionaceae: Phaseolus vulgaris und *Vicia Faba.*

Die Wurzeln dieser Pflanzen besitzen eine sehr grosse Anzahl sehr langer und starker Haare, welche sehr wohl im Stande sind, ein beträchtliches Quantum von Saft in ihrem Lumen zu speichern. Andere auf den radialen Saftstrom bezügliche Einrichtungen habe ich nicht angetroffen.

Primulineae.

Primulaceae: Primula chinensis.

Hier besitzt die subepidermale Schicht zwar verschiedene Kennzeichen eines Hypodermas; da jedoch die Zellen des übrigen Rindengewebes unver-

hältnissmässig grösser sind, und ebenfalls lückenlosen Verband zeigen, so liegt es nahe, auch dem grosszelligen Gewebe eine wesentliche Funktion zur Regulirung des radialen Saftstromes zuzusprechen.

Tubiflorae.

Asperifolieae: Myosotis palustris.

Die Untersuchung dieser Wurzel ergab, dass das Rindengewebe in seiner Gesammtheit im Stande ist, mittelst seiner auffallend grossen und turgescenten Zellen für die Pflanze als Wasserreservoir zu funktioniren. Ein besonders ausgebildetes Hypoderma oder andere bezügliche Einrichtungen waren nicht anzutreffen.

Solaneae: Solanum nigrum.

An den feinsten Verzweigungen dieser Wurzel befindet sich unter der sehr engzelligen Epidermis eine Schicht auffallend grosser und inhaltsarmer Elemente, deren radialer Durchmesser circa das sechsfache der Epidermiszellen beträgt und deren Wände sich gegen concentrirte Schwefelsäure resistenter als die des übrigen Rindengewebes verhalten. Dieses letztere ist ebenfalls grosszellig, jedoch nicht in dem Maasse wie die subepidermale Schicht, sodass diese sich von allen übrigen Organen der Wurzel auffallend unterscheidet, und ein echtes Hypoderma darstellt.

Labiatiflorae.

Labiatae: Satureja hortensis.

Das einschichtige Hypoderma, welches diese Wurzel besitzt, zeigt sehr verschiedene Grösse seiner Zellen; die meisten derselben haben jedoch einen auffallend grösseren Radialdurchmesser als die des Grundgewebes.

Weitere, den radialen Saftstrom beeinflussende Einrichtungen waren nicht anzutreffen.

Scrophularineae: Antirrhinum majus.

Das auch hier vorhandene einschichtige Hypoderma wird besonders durch den Umstand deutlich hervorgehoben, dass die Zellen des übrigen Rindenparenchyms tangentiale Streckung haben und von je vier Elementen begrenzte Intercellularräume bilden.

Contortae.

Apocyneae: Nerium Oleander.

Die Oleanderwurzel besitzt ebenfalls ein einschichtiges Hypoderma, welches in den untersuchten Fällen besonders dadurch auffiel, dass dasselbe einen gänzlichen Mangel an plastischen Baustoffen zeigte, während das übrige Parenchym der Rinde mit Stärke erfüllt war.

Campanulineae.

Lobeliaceae: Lobelia inflata.

Bei dieser Wurzel unterscheidet sich die subepidermale Schicht vom inneren Rindengewebe durch die Unlöslichkeit ihrer Membranen in concen-

trirter Schwefelsäure. Alle andern Merkmale eines Wassergewebes fehlen, und es kann daher der subepidermalen Schicht eine den radialen Saftstrom besonders beeinflussende Thätigkeit nicht zugeschrieben werden.

Das gesammte Rindengewebe zeigt im übrigen streng radiale Anordnung seiner Elemente.

Aggregatae.

Compositae: Bellis perennis.

Das bei der Wurzel von *Lobelia* sowohl über die subepidermale Schicht, als über das Grundparenchym der Rinde gesagte trifft hier in allen Punkten zu; andere unsere Frage berührende Einrichtungen sind ebensowenig wie dort anzutreffen.

Vorstehende Arbeit ist auf Anregung des Herrn Professor Dr. A. B. Frank, Leiters des pflanzenphysiologischen Instituts des Königl. Landwirthschaftlichen Hochschule zu Berlin ausgeführt worden.

Für die mannigfachen Rathschläge, welche mir seitens dieses Lehrers zu Theil wurden, wie für das lebhafte Interesse, welches er meiner Arbeit entgegenbrachte, sei ihm an dieser Stelle mein herzlichster und ergebenster Dank ausgesprochen.

Figurenerklärung.

Fig. 1. *Zea Mays*, junge Wurzel, Querschnitt. Vergr. 260.

Fig. 2. *Epipactis palustris*, junge Wurzel; äusserster tangentialer Längsschnitt, bestehend aus Epidermis mit darunter liegender, in lange und kurze Zellen differenzirter Hypoderma-Schicht. Vergr. 195.

Fig. 3. *Phlox paniculata*, ältere Wurzel; Längsschnitt bestehend aus Hypoderma und darunter liegender Parenchymschicht. Vergr. 480.

Fig. 4. *Bromelia longifolia*, junge Wurzel; Querschnitt. Vergr. 260.

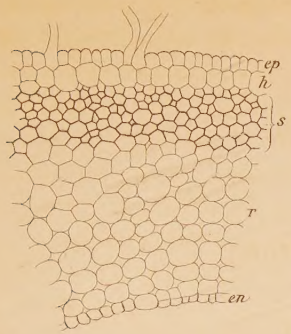
Fig. 5. *Phragmites*, stärkere Wurzel; Querschnitt. Vergr. 260.

Fig. 6. *Pontederia crassipes*, junge Wurzel. a. Querschnitt, b. radialer Längsschnitt. Vergr. 195.

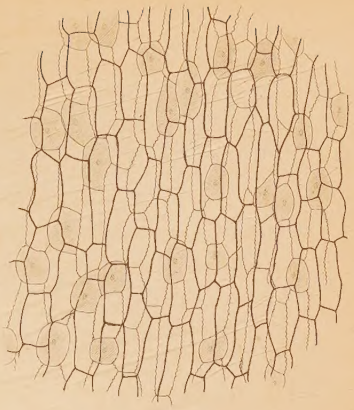
Fig. 7. *Maranta arundinacea*, junge Wurzel; Querschnitt. Vergr. 260.

ep = Epidermis. h = Hypoderma. r = inneres Rindengewebe. s = Suberoid. d = Durchgangsstelle. en = Endodermis.

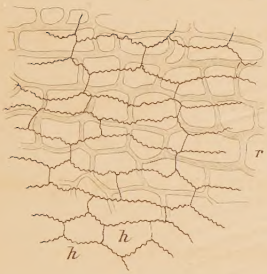
1.



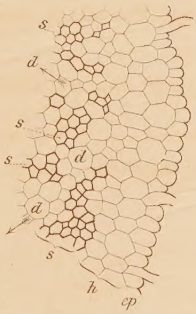
2.



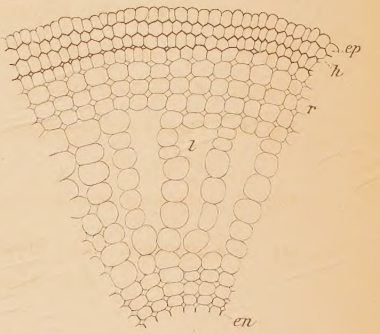
3.



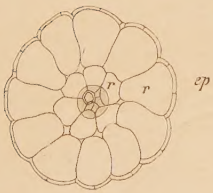
4.



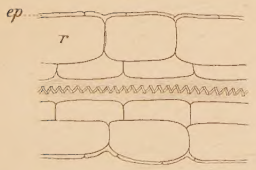
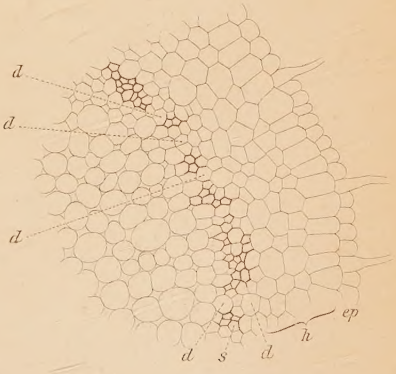
5.



6 a



6 b



7.